

Università degli Studi di Roma “La Sapienza”

**Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed
Ambientale**



Dottorato di Ricerca in Infrastrutture e Trasporti

XXIV Ciclo

**Strumenti per la valutazione di impatto sulla
sicurezza di interventi sulla rete stradale**

Tutor: Ing. Luca Persia

Dottoranda: Ing. Olga Basile

E' difficile in poche righe ricordare tutte le persone che, a vario titolo, hanno contribuito a questo mio lavoro. Dal punto di vista lavorativo devo ringraziare in primis per l'opportunità, la pazienza, la disponibilità e il grande supporto scientifico e morale il mio Tutor, Luca. Non posso non ringraziare tutto il gruppo di lavoro sulla sicurezza stradale del CTL e della IT, in particolare: Davide e Roberto per i loro preziosi suggerimenti e per la loro infinita pazienza; Alessandro, Roberto e Alessandra per aver reso "reale" quanto studiato (anche per loro un ringraziamento speciale per la pazienza); Gabriele, Maria Rosaria e Flavia che mi hanno supportato psicologicamente nella conclusione del mio lavoro. Vorrei ringraziare il Comune di Terni, nella figura dell'Arch. Giammari, grazie al quale parte del lavoro non sarebbe stato possibile e il Direttore del CTL, prof Francesco Filippi. Un ringraziamento particolare va a Tonino, per essermi stato sempre vicino e per dividere con me questa vita, per avermi supportato e sopportato sia da un punto di vista scientifico che morale. Un grazie di cuore va ai miei genitori e ad Alessandra, lontani, ma solo fisicamente e sempre nel mio cuore. Infine, ma solo perché ultimo arrivato, grazie Andrea!

Sommario

Indice delle Figure	3
Indice delle Tabelle	5
Premessa 6	
1 Introduzione	8
2 Inquadramento della Ricerca	12
2.1 I dati di incidentalità	12
2.2 Il sistema di supporto alle decisioni ISIDE	16
2.3 L'approccio metodologico	19
3 Safety Performance Functions	22
3.1 Stato dell'arte	22
3.2 Tipologia di modelli utilizzabili per le SPF	24
4 Creazione della libreria delle Safety Performance Functions	28
4.1 Dati Necessari	28
4.1.1 Dati di incidentalità	28
4.1.2 Dati di mobilità	29
4.1.3 Dati relativi all'infrastruttura	32
4.1.4 Utilizzo dei dati	33
4.2 Calibrazione e Validazione delle Funzioni	34
4.2.1 Funzioni in ambito urbano	34
4.2.2 Funzioni in ambito extraurbano	37
5 Determinazione dei costi sociali	39
5.1 Obiettivi e metodologia	39
5.2 Costo medio umano per decesso (CM)	41
5.2.1 Costo della vita umana	41
5.2.2 Costi Sanitari (CS)	43
5.2.3 Riepilogo Costo medio umano per decesso	44
5.3 Costo medio di un ferito (CF)	44
5.3.1 Ripartizione percentuale di feriti gravi e lievi	44
5.3.2 Numero di feriti gravi (nfg) e feriti lievi (nfl) per incidente grave	45
5.3.3 Costo medio di un ferito (CF)	47
5.4 Costi generali medi per incidente (CG)	48
5.4.1 Danni patrimoniali (Dp)	48
5.4.2 Costi amministrativi (CA)	48
5.4.3 Riepilogo Costi Generali medi per incidente	49

5.5	Costo sociale medio per incidente mortale	50
5.6	Costo sociale medio per incidente grave (CMig)	50
6	Sviluppo del Modulo RIA	52
7	Applicazione del Modulo RIA	59
7.1	Applicazione in ambito extraurbano - il caso della Regione Lazio	59
7.2	Applicazione in ambito urbano - il caso del Comune di Terni	65
8	Conclusioni	71
9	Bibliografia	73
10	Allegato	75
10.1	Scheda rilievo incidente Regione Marche	75
10.2	Calibrazioni SPF effettuate con il software R	81

Indice delle Figure

Figura 2-1	Confronto fra statistiche relative agli incidenti e relative ai decessi in alcuni paesi (Hutchinson, 1984)	13
Figura 2-2	Esempio di struttura database Incidenti stradali	16
Figura 2-3	Schema funzionale del DSS ISIDE	17
Figura 2-4	Processo di valutazione della sicurezza	19
Figura 2-5	Approccio metodologico della ricerca di Dottorato	20
Figura 3-1	Funzioni tipo X^b e e^{bx}	23
Figura 3-2	Tipologie di modelli studiati	25
Figura 4-1	Distribuzione della densità di probabilità per classi di lunghezza	33
Figura 6-1	Modulo RIA di ISIDE	52
Figura 6-2	Schermata "Acquisizione e gestione dati incidenti"	53
Figura 6-3	Schermata "Acquisizione e gestione dati scenario di progetto"	54
Figura 6-4	Schermata "Progettazione della sicurezza"	55
Figura 6-5	Schermata di output "Elaborazione previsione incidentalità ai nodi"	56
Figura 6-6	Schermata di output "Elaborazione previsione incidentalità ai tronchi"	57
Figura 6-7	Visualizzazione su mappa della differenza di incidentalità fra Stato di Progetto e Stato Attuale	58
Figura 7-1	Visualizzazione su mappa degli Scenari di Progetto	60
Figura 7-2	Rappresentazione del costo sociale dell'incidentalità allo Stato Attuale	61
Figura 7-3	Rappresentazione del costo sociale dell'incidentalità nello Scenario Do Nothing 2015	61
Figura 7-4	Rappresentazione del costo sociale dell'incidentalità nello Scenario Do Minimum 2015	62
Figura 7-5	Rappresentazione del costo sociale dell'incidentalità nello Scenario Do Minimum 2025	62
Figura 7-6	Rappresentazione del costo sociale dell'incidentalità nello Scenario Do Everything 2025	63
Figura 7-7	Rappresentazione della differenza di costo sociale dell'incidentalità fra lo Scenario Do Minimum 2015 e lo Scenario Do Nothing 2015	64
Figura 7-8	Rappresentazione della differenza di costo sociale dell'incidentalità fra lo Scenario Do Everything 2025 e lo Scenario Do Minimum 2025	65
Figura 7-9	Ipotesi di progetto nel Comune di Terni	66
Figura 7-10	Rappresentazione dell'incidentalità agli archi nello Stato Attuale	67
Figura 7-11	Rappresentazione dell'incidentalità ai nodi nello Stato Attuale	67
Figura 7-12	Rappresentazione dell'incidentalità agli archi nello Stato di Progetto	68
Figura 7-13	Rappresentazione dell'incidentalità ai nodi nello Stato di Progetto	68
Figura 7-14	Rappresentazione della differenza della frequenza di incidentalità agli archi fra Stato di Progetto e Stato Attuale	69
Figura 7-15	Rappresentazione della differenza dell'incidentalità ai nodi fra Stato di Progetto e Stato Attuale	69
Figura 10-1	Calibrazione per nodi Terni anni 2005-2007, Binomiale Negativa	81
Figura 10-2	Calibrazione per nodi Terni anni 2005-2007, Poisson	82
Figura 10-3	Calibrazione per nodi, Terni anni 2005-2007, Zero Inflated	83
Figura 10-4	Calibrazione per nodi Terni anno 2006, Binomiale Negativa	84
Figura 10-5	Calibrazione per nodi Terni anno 2006, Poisson	85
Figura 10-6	Calibrazione per nodi Terni anno 2006, Zero Inflated	86
Figura 10-7	Calibrazione per archi Terni anni 2005-2007, Binomiale Negativa	87
Figura 10-8	Calibrazione per archi Terni anni 2005-2007, Poisson	88
Figura 10-9	Calibrazione per archi Terni anni 2005-2007, Zero Inflated	89
Figura 10-10	Calibrazione per archi Terni anno 2006, Binomiale Negativa	90

Figura 10-11	Calibrazione per archi Terni anno 2006, Poisson	91
Figura 10-12	Calibrazione per archi Terni anno 2006, Zero Inflated	92
Figura 10-13	Calibrazione per Feriti Lazio, Binomiale Negativa	93
Figura 10-14	Calibrazione per Feriti Lazio, Poisson	94
Figura 10-15	Calibrazione per Feriti Lazio, Zero Inflated	95
Figura 10-16	Calibrazione per Morti Lazio, Binomiale Negativa	96
Figura 10-17	Calibrazione per Morti Lazio, Poisson	97
Figura 10-18	Calibrazione per Morti Lazio, Zero Inflated	98

Indice delle Tabelle

Tabella 2-1	Informazioni associate all'incidente nel Modulo ISTAT e confronto con altri database	16
Tabella 4-1	Dati di incidentalità forniti dalle Amministrazioni	29
Tabella 4-2	Tipologia di veicoli e coefficienti di equivalenza utilizzati	30
Tabella 4-3	Associazione fra coefficienti della Formula di Ginevra, Mesi e Giorni dell'anno	31
Tabella 4-4	Dati sull'infrastruttura forniti dalle Amministrazioni	32
Tabella 4-5	Dati reperiti dalle Pubbliche Amministrazioni	33
Tabella 4-6	Test statistici relativi ai risultati delle calibrazioni	35
Tabella 4-7	Valori dei coefficienti β calibrati per i Modelli	37
Tabella 4-8	Test statistici relativi ai risultati delle calibrazioni	37
Tabella 4-9	Valori dei coefficienti β calibrati per i Modelli	38
Tabella 5-1	Definizione di ferito grave in alcuni Stati europei (Fonte: Glossario del database CARE)	40
Tabella 5-2	Mancata Produttività– Anno 2010	42
Tabella 5-3	Danno morale – Anno 2010	43
Tabella 5-4	Costi sanitari – Anno 2009/2010	43
Tabella 5-5	Costo medio umano per decesso – Anno 2010	44
Tabella 5-6	Numero di ricoveri, feriti e conseguente percentuale di feriti gravi per incidente stradale nella Regione Piemonte durante il periodo 2006-2009	45
Tabella 5-7	Numero di ricoveri, feriti e conseguente percentuale di feriti gravi per incidente stradale nella Regione Emilia Romagna durante il periodo 2000-2009	45
Tabella 5-8	Ripartizione del numero di incidenti per gravità - Anno 2010	46
Tabella 5-9	Danno patrimoniale – Anno 2010	48
Tabella 5-10	Costi amministrativi medi per incidente – Anno 2010	49
Tabella 5-11	Costi Generali per incidente – Anno 2010	50
Tabella 5-12	Costo sociale medio per incidente mortale- Anno 2010	50
Tabella 5-13	Costo sociale medio per incidente grave- Anno 2010	51
Tabella 7-1	Scenari di progetto	60
Tabella 7-2	Confronto fra numero di archi con un determinato costo sociale nei vari scenari	63
Tabella 7-3	Risultati analisi	64
Tabella 7-4	Risultati analisi	65
Tabella 7-5	Risultati analisi	70

Premessa

La presente Tesi di Dottorato rappresenta il rapporto finale della ricerca su “Strumenti per la valutazione di impatto sulla sicurezza di interventi sulla rete stradale”.

La ricerca di Dottorato si inquadra nell'ambito degli studi realizzati dal gruppo di lavoro sulla sicurezza stradale del Centro di ricerca per il Trasporto e la Logistica (CTL) della “Sapienza” Università di Roma. Tali studi sono svolti, in campo internazionale, nell'ambito di alcune dei principali progetti di ricerca europea, inerenti la sicurezza stradale (ROSEBUD, SafetyNET e DaCoTa), mentre in campo nazionale nell'ambito di diversi progetti con Pubbliche Amministrazioni (Comune di Perugia, Comune di Parma, Regione Marche).

Nell'ambito di tali studi, sia internazionali che nazionali, il gruppo di lavoro ha sviluppato un sistema informativo di supporto alle decisioni (DSS) per la sicurezza stradale, ISIDE (*Instrumentation for Safety Improvement, Design and Evaluation*). Il DSS si basa sull'informatizzazione del processo di analisi e di pianificazione e cerca di migliorare le capacità decisionali dei progettisti durante l'identificazione delle possibili cause d'incidentalità e durante la scelta degli interventi più efficaci per uno specifico sito, in base al minor rapporto costi/benefici.

Inoltre nel 2008 la Commissione Europea ha emanato la Direttiva n° 96 riguardante la gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali all'interno della quale ricade, fra le altre, la problematica della valutazione degli effetti delle misure di sicurezza stradale. Vi è infatti la difficoltà di valutare gli effetti di interventi sulla sicurezza stradale (*Road safety Impact Assessment* - RIA) e di associare cambiamenti dell'incidentalità alle variazioni dei flussi di traffico. Quest'ultima difficoltà è risolta attraverso dei modelli di previsione dell'incidentalità, *Safety Performance Functions* (SPF).

Partendo da queste considerazioni e dall'analisi di problematiche e lacune, la ricerca di Dottorato è stata incentrata su due obiettivi principali:

- sviluppare una libreria di modelli per la previsione dell'incidentalità (SPF) a data alla realtà italiana;
- sviluppare un modulo (RIA: analisi comparativa strategica dell'impatto di una nuova strada o di una modifica sostanziale della rete esistente sul livello di sicurezza della rete stradale) per la valutazione degli effetti sulla sicurezza stradale di interventi che determinano modifiche nella configurazione di traffico, da integrare nel DSS ISIDE.

Gli obiettivi della ricerca ricadono quindi in pieno la Direttiva EC 96/2008 e di ventano quindi ambiziosi nell'ottica di creare uno strumento, al momento non esistente in Italia, che permetta di valutare gli effetti delle misure di sicurezza stradale sia in termini di riduzione/aumento dell'incidentalità, sia in termini di costi sociali associati all'incidentalità. Infatti, nel corso della ricerca è stato realizzato uno studio (richiesto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) per l'aggiornamento dei costi sociali associati all'incidentalità.

La Tesi è quindi strutturata in otto Capitoli:

- il primo capitolo introduttivo intende mostrare le problematiche inerenti la sicurezza stradale, riscontrate in ambito sia nazionale che internazionale, mettendo l'accento sulle normative attualmente vigenti e descrivendo gli obiettivi che ci si è prefissati per la ricerca;
- il secondo capitolo descrive nel dettaglio alcune delle problematiche inerenti la sicurezza stradale, quali la presenza e la qualità dei dati di incidentalità, gli strumenti attualmente esistenti per affrontare i problemi relativi sia ai dati che alla gestione delle informazioni, e infine viene descritto l'approccio metodologico seguito nel corso dei tre anni di ricerca;
- il terzo capitolo descrive le funzioni di previsione dell'incidentalità (SPF), partendo da quelle attualmente esistenti e analizzando altre tipologie di modelli statistici utilizzabili per la creazione della libreria delle SPF per il caso italiano;
- il quarto capitolo descrive la creazione della libreria di SPF, attraverso lo studio dei dati necessari e il loro utilizzo, fino ad arrivare alla vera e propria calibrazione delle funzioni per l'ambito urbano e per l'ambito extraurbano;
- il quinto capitolo descrive lo studio effettuato per l'aggiornamento dei costi sociali (attività svolta nell'ambito del lavoro di Monitoraggio e Assistenza del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale presso la Direzione Generale Sicurezza Stradale del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti) dell'incidentalità. Tali dati sono stati poi utilizzati per la valutazione di impatto;
- il sesto capitolo descrive l'implementazione della metodologia RIA nel DSS ISIDE attraverso lo sviluppo del "Modulo RIA";
- il settimo capitolo descrive l'applicazione del "Modulo RIA" di ISIDE ad ambiti urbano ed extraurbano, valutando gli impatti sulla sicurezza in termini di costi sociali (ambito extraurbano) e in termini di riduzione/aumento dell'incidentalità (ambito urbano);
- l'ottavo ed ultimo capitolo mostra le conclusioni della ricerca di Dottorato.

1 Introduzione

Nel 2010 in Italia sono avvenuti 211.404 incidenti, che hanno causato il decesso di 4.090 persone, mentre altre 302.735 hanno subito lesioni di diversa gravità.

Il tributo che la nazione paga in termini di vite umane perse e feriti provocati dagli incidenti stradali si aggira intorno ai 28 mld di euro ogni anno, non considerando gli incidenti con i soli danni materiali. A tali risultati si è pervenuti prendendo come base di calcolo i dati relativi alle indagini ISTAT-ACI sugli incidenti stradali.

L'attuazione di politiche ed interventi che favoriscano la riduzione del rischio sulla rete stradale non può prescindere dalla conoscenza del fenomeno e deve quindi partire da informazioni che siano chiare, complete e consistenti.

Nel 1997 la Commissione Europea ha lanciato il secondo programma d'azione europeo "Promuovere la sicurezza stradale nell'Unione Europea: il programma 1997-2001", indicando come obiettivo per i Paesi Membri una riduzione del numero di vittime degli incidenti stradali del 40% entro il 2010. Tale obiettivo faceva seguito ad un leggero miglioramento della dinamica evolutiva degli incidenti stradali verificatasi nel complesso dei Paesi dell'Unione nella prima metà degli anni Novanta. In realtà, nella seconda metà degli anni Novanta, molti paesi hanno registrato risultati lusinghieri in materia di sicurezza stradale; ciò ha spinto l'Unione Europea a modificare il proprio traguardo nel 2001, all'interno del Libro Bianco "La politica europea dei trasporti fino al 2010: il momento delle scelte". In questo documento viene fissato per il 2010 il traguardo di una riduzione del 50% dei morti in incidenti stradali rispetto al 2000 e viene annunciata l'elaborazione di un Terzo programma d'azione riferito al periodo 2002-2010 che viene pubblicato nel 2003 e si intitola "Dimezzare il numero di vittime della strada nell'Unione Europea entro il 2010: una responsabilità condivisa".

Per il periodo 2011-2020, la Commissione Europea ha confermato l'obiettivo di dimezzare il numero totale di vittime di incidenti stradali nell'Unione Europea entro il 2020, a partire dal 2010. Tale obiettivo è ulteriormente sottolineato dal recente "Libro Bianco sulle politiche dei trasporti" per il periodo 2010-2020, della Commissione Europea.

Nel corso degli anni la ricerca europea in materia di sicurezza stradale ha evidenziato, attraverso diversi progetti, una serie di problematiche presenti in Italia:

1. inadeguatezza del modulo di rilievo dei dati di incidentalità, presenza di errori e frequente assenza di una precisa localizzazione;
2. assenza dei dati di traffico e dei dati geometrico-funzionali della rete;
3. mancanza di una metodologia per la stima degli incidenti;
4. mancanza di una metodologia idonea di scelta dei siti candidati agli interventi;
5. difficoltà di identificazione delle cause degli incidenti e incapacità di associare delle contromisure alle cause;

6. difficoltà di: previsione degli effetti di un intervento su un sito, quantificazione monetaria degli incidenti, definizione di un orizzonte temporale attendibile;
7. inadeguatezza del metodo di stima degli incidenti e debolezza del metodo di valutazione dei risultati;
8. difficoltà di associare cambiamenti di incidentalità a variazioni dei flussi di traffico.

Le conseguenze di queste problematiche sono:

1. impossibilità di analizzare correttamente il fenomeno;
2. interpretazione non corretta della sicurezza di una strada e impossibilità di impostare delle relazioni tra incidentalità e caratteristiche della strada;
3. possibile valutazione erronea dell'entità del fenomeno;
4. possibile individuazione non corretta del luogo dove intervenire;
5. possibile inadeguatezza delle contromisure adottate;
6. scarsa efficacia ed efficienza delle contromisure;
7. mancata conoscenza dell'efficacia degli interventi;
8. impossibilità di valutare correttamente gli effetti sulla sicurezza di interventi che modificano i flussi di traffico sulla rete.

Le carenze dei dati sono testimoniate dalla sottostima del fenomeno. Il confronto con le statistiche sanitarie mostra per l'Italia un chiaro fenomeno di underreporting, per cui le dimensioni reali del numero degli incidenti stradali risultano notevolmente superiori a quelle registrate.

La debolezza relativa alla metodologia di scelta dei siti candidati all'intervento sta nel fatto che viene effettuata sulla base di una serie di fattori, fra i quali l'emotività dei decisori (es. un sito nel quale è avvenuto un incidente mortale viene scelto solo per via di quell'incidente), senza valutare le reali cause che hanno portato al sinistro, e valutazioni soggettive, non sempre fatte da parte di tecnici esperti (es. Polizia Municipale).

Altra debolezza è l'incapacità di previsione degli effetti di un intervento su un sito. In ambito internazionale, ad esempio negli Stati Uniti questa problematica viene studiata da diversi anni. Il Manuale *SEMOG Traffic Safety Manual*, realizzato per la *Federal Highway Administration* (FHWA), affronta il problema da un punto di vista deterministico attraverso un processo che va dall'individuazione delle tipologie di incidenti più problematiche fino alla scelta finale delle contromisure sulla base dei *Crash Reduction Factors* (CRF), dei coefficienti di riduzione dell'incidentalità, e sulla base di analisi benefici/costi, facendo quindi una valutazione degli effetti dei vari interventi proposti sulla rete.

La valutazione degli interventi viene frequentemente condotta misurando semplicemente i valori di determinati indicatori dopo aver realizzato l'intervento, confrontandoli poi con quelli misurati prima dell'intervento (confronto *before/after*) senza valutare se tali variazioni possano essere dovute ad altri fattori, quali ad esempio modifiche delle caratteristiche dell'offerta trasportistica e la conseguente modifica dei flussi di traffico sulla rete in esame. Negli Stati Uniti è stato realizzato il software *Safety Analyst* (software per la previsione dell'incidentalità e per la valutazione degli

interventi), evoluzione del *SEMCOG*, che affronta il problema da un punto di vista probabilistico, attraverso degli indicatori statistici più corretti, utilizzando funzioni di previsione dell'incidentalità per la valutazione degli interventi.

La difficoltà di associare cambiamenti di incidentalità e variazioni dei flussi di traffico è risolta attraverso dei modelli di previsione dell'incidentalità, *Safety Performance Functions* (SPF). Tali modelli consentono di prevedere come varia il numero e la gravità degli incidenti al variare di elementi quali, ad esempio, i flussi di traffico o le velocità dei veicoli sugli archi della rete. L'assenza di dati di incidentalità non correttamente georeferenziati e, spesso, l'inaccessibilità di informazioni sui flussi di traffico e sulle caratteristiche geometrico-funzionali delle strade, rendono però difficoltosa la calibrazione di modelli appositi (SPF), che permettano di valutare l'incidentalità sia allo stato attuale che in scenari di progetto.

I problemi relativi a tale processo di valutazione sono:

- le SPF sono dei modelli dipendenti da diversi dati (caratteristiche geometrico-funzionali dell'infrastruttura, velocità sugli archi, dati di incidentalità georeferenziati, ecc...) che non sono facili da reperire o possono essere di scarsa qualità;
- le SPF al momento studiate e calibrate (*Safety Analyst*) sono relative alla realtà degli Stati Uniti;
- in Italia, come in Europa, non esiste una libreria di SPF già calibrate e validate;
- in Italia non è stata ancora studiata la migliore forma funzionale da adattare alla realtà nazionale per questi modelli;
- è difficile far lavorare insieme due tipologie di modelli, quelli per la simulazione dei flussi di traffico (necessari per simulare i flussi di traffico su una rete) e quelli per la previsione dell'incidentalità.

La Direttiva prevede l'implementazione da parte degli Stati Membri di procedure per:

- la valutazione degli effetti delle misure di sicurezza stradale (*Road safety Impact Assessment - RIA*);
- la verifica di sicurezza stradale (*Road Safety Audit*);
- la gestione della sicurezza della rete stradale;
- le ispezioni di sicurezza (*Road Safety Inspection*).

La Direttiva si applica alle strade che fanno parte della rete Trans-Europea, anche se gli Stati Membri intendono estendere tale applicazione anche a tutte le altre tipologie di strade. In particolare in Italia è volontà del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (con il decreto di attuazione n° 35 del marzo del 2011) estenderla gradualmente a tutte le tipologie di strade di interesse nazionale entro il 2021. Altro punto fondamentale della Direttiva riguarda la gestione dei dati sugli incidenti stradali (Articolo 7). Obiettivo della Commissione è assicurare che gli Stati Membri raccolgano adeguate informazioni sugli incidenti mortali.

La ricerca di dottorato si inquadra nell'ambito di una serie di studi realizzati dal gruppo di lavoro sulla sicurezza stradale del Centro di ricerca per il Trasporto e la Logistica (CTL) della "Sapienza" Università di Roma.

In particolare tali studi sono svolti nell'ambito di alcuni dei principali progetti di ricerca europea, inerenti la sicurezza stradale (ROSEBUD, SafetyNET e DaCoTa). In campo nazionale il gruppo di ricerca, nell'ambito di diversi progetti con Pubbliche Amministrazioni (Comune di Perugia, Comune di Parma, Regione Marche), ha sviluppato un sistema informativo di supporto alle decisioni (DSS) per la sicurezza stradale, ISIDE (*Instrumentation for Safety Improvement, Design and Evaluation*). Il DSS si basa sull'informatizzazione del processo di analisi e di pianificazione. ISIDE cerca di migliorare le capacità decisionali dei progettisti durante l'identificazione delle possibili cause d'incidentalità e durante la scelta degli interventi più efficaci per uno specifico sito, in base al minor rapporto costi/benefici.

Partendo da queste considerazioni e dall'analisi di problematiche e lacune, la ricerca di dottorato è stata incentrata su due obiettivi principali:

- sviluppare una libreria di modelli per la previsione dell'incidentalità (SPF) adatta alla realtà italiana;
- sviluppare un modulo (RIA: analisi comparativa strategica dell'impatto di una nuova strada o di una modifica sostanziale della rete esistente sul livello di sicurezza della rete stradale) per la valutazione degli effetti sulla sicurezza stradale di interventi che determinano modifiche nella configurazione di traffico, da integrare nel DSS ISIDE

Tali modelli sono stati calibrati in ambito urbano ed extraurbano utilizzando dati raccolti in realtà italiane che sviluppano progetti finanziati nell'ambito dei Programmi di Attuazione del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale, ai quali il gruppo di ricerca del CTL partecipa attivamente.

Inoltre per contrastare e risolvere le problematiche relative alla qualità dei dati d'incidentalità, il Piano Nazionale della Sicurezza Stradale sta promuovendo la concertazione e il coordinamento tra le amministrazioni interessate al miglioramento della sicurezza stradale attraverso la realizzazione di "Centri di Monitoraggio" di livello Comunale, Provinciale e Regionale. In un futuro non troppo remoto sarà possibile utilizzare le banche dati di tali centri per l'aggiornamento e lo sviluppo dei modelli di previsione dell'incidentalità della libreria su citata.

Infine, per risolvere le problematiche relative alla quantificazione monetaria degli incidenti, il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ha richiesto, al gruppo di lavoro del CTL (nell'ambito del Servizio di Monitoraggio e Assistenza Tecnica del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale) l'aggiornamento dei costi sociali legati all'incidentalità. Nel corso della ricerca di Dottorato è stato possibile lavorare a tale aggiornamento e i dati ottenuti dallo studio sono stati utilizzati per le analisi.

Gli obiettivi della ricerca ricalcano in pieno la Direttiva EC 96/2008 e diventano quindi ambiziosi nell'ottica di andare a creare uno strumento, al momento non esistente in Italia, che permetta di valutare gli effetti delle misure di sicurezza stradale, ma che risulta essere necessario per via del recepimento della Direttiva avvenuto in Italia con il decreto n° 35 del 2011. Tale valutazione risulta essere importante sia in fase di progettazione di interventi volti alla riduzione dell'incidentalità (esempio, progettazione di rotonde), ma soprattutto in fase di programmazione di un intervento che porterà in seguito a una modifica dei flussi di traffico, non necessariamente collegato alla sicurezza stradale (es. Piani Urbani del Traffico, ecc.).

2 Inquadramento della Ricerca

Considerate le problematiche precedentemente viste, l'approccio metodologico alla ricerca di Dottorato ha considerato in primis il problema dei dati di incidentalità (scarsa qualità e mancata localizzazione), modificando (nell'ambito del Centro di Monitoraggio della Regione Marche) la scheda di raccolta dati di incidentalità. Un database con un quantitativo di dati nettamente maggiore e di qualità più elevata servirà in futuro a analizzare il fenomeno con più accortezza.

Si è inoltre affrontato il problema relativo alla gestione delle informazioni attraverso l'ampliamento di un sistema di supporto alle decisioni (ISIDE) che permette, attraverso l'informatizzazione del processo di analisi e di pianificazione, di migliorare le capacità decisionali dei progettisti. L'ampliamento è consistito nello sviluppo del Modulo RIA che si integra all'interno del DSS permettendo la valutazione degli effetti sulla sicurezza stradale di interventi (sia quelli atti a mitigare le situazioni critiche, sia interventi sulla rete che modificano l'offerta di trasporto).

Infine viene descritto l'approccio metodologico seguito per il raggiungimento degli obiettivi della Ricerca di Dottorato.

2.1 I dati di incidentalità

Allo stato attuale, un incidente stradale con conseguenze a persone, una volta rilevato, viene codificato secondo il modulo "Istat.ctt" e inviato all'ISTAT in formato digitale o cartaceo. L'ISTAT si occupa di acquisire, informatizzare e verificare i dati ricevuti, per poi archivarli in un database dedicato.

Il modello di rilevazione vigente però offre di una serie di problematiche: tempi di validazione estesi; disponibilità dei dati a distanza di un anno; limitazioni di accesso a tutte le informazioni associate al singolo incidente; campione d'indagine limitato ai sinistri con feriti; localizzazione dei sinistri assente o imprecisa; contenuto informativo dei dati limitato per analisi ingegneristiche utili per la pianificazione della sicurezza.

Le conseguenze di tali problematiche possono condurre facilmente a:

- difficoltà nella corretta individuazione delle dimensioni del fenomeno;
- possibilità di errore nella scelta dei punti della rete dove intervenire;
- difficoltà di individuazione delle cause principali e, quindi, delle contromisure più adeguate ed efficaci;
- incertezza nella valutazione dei reali risultati di misure/politiche per il miglioramento della sicurezza stradale.

Le carenze dei dati sono testimoniate dalla sottostima del fenomeno. Il confronto con le statistiche sanitarie mostra per l'Italia un chiaro fenomeno di *underreporting*, per cui le dimensioni reali sono notevolmente superiori a quelle registrate.

Fino al 1999 questa differenza, in termini di morti, oscillava fra il 20% ed il 30%. Dopo il 1999, anno in cui l'ISTAT ha esteso da sette a trenta giorni dopo l'incidente il periodo di contabilizzazione dei decessi per incidente stradale, il fenomeno sembra essersi attenuato, pur essendo ancora apprezzabile (si tenga presente che l'*underreporting* dei feriti è, generalmente, di gran lunga maggiore di quello dei morti).

Dal punto di vista qualitativo, i dati presentano (Persia, 2000) una serie di “buchi” e carenze (prima fra tutte la difficoltà di localizzazione e data degli incidenti) che inficiano significativamente le analisi, sia di tipo aggregato che disaggregato. A ciò si aggiunge il fatto che, anche quando il dato viene raccolto e trasmesso nella sua completezza, il modulo ISTAT appare in alcuni punti poco adeguato a descrivere in maniera completa i fattori utili per l'analisi degli incidenti (la stessa ISTAT ha avviato un processo per la revisione del modulo inserendo al suo interno le coordinate geografiche latitudine e longitudine, utili per la georeferenziazione delle informazioni).

Il fenomeno dell'incompletezza dei dati di incidentalità non riguarda solo l'Italia. La Figura 2-1 mostra alcuni dei risultati di uno studio comparativo fra diversi Paesi, in cui le statistiche degli incidenti sono state confrontate con quelle sanitarie.

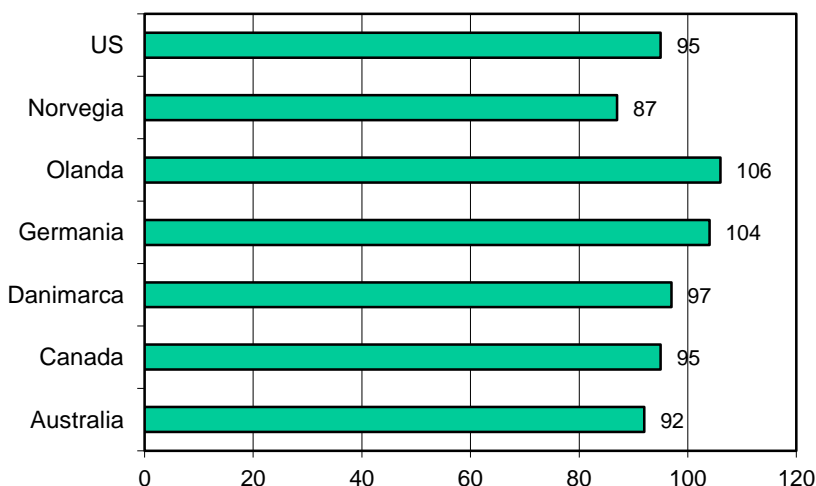


Figura 2-1 Confronto fra statistiche relative agli incidenti e relative ai decessi in alcuni paesi (Hutchinson, 1984)

Dall'esame dei dati si nota che c'è generalmente una sottostima, ma di più di menzioni assai più contenute (si tenga presente che lo studio è del 1984) che nel caso italiano. In due casi addirittura (Germania e Olanda) c'è un fenomeno opposto (*overreporting*): le statistiche degli incidenti forniscono numeri maggiori di quelle sanitarie. Non è ben chiaro il motivo di questa differenza in positivo, anche se diverse spiegazioni possono essere ipotizzate (persone che muoiono prima dell'incidente per altri motivi, es. infarto, comprese nelle statistiche degli incidenti, suicidi in automobile computati come incidenti, stranieri che muoiono in incidenti stradali, che non vengono riportati nelle statistiche sanitarie). Va peraltro detto (Elvik, 2004) che la stima del grado di errore delle statistiche di incidentalità è sempre difficile da quantificare con esattezza. Questo perché si basa sul confronto fra statistiche (generalmente: quella degli incidenti, quella sanitaria, quella delle assicurazioni) ciascuna delle quali, per generale omissione, è incompleta. Un confronto esatto, basato sul confronto fra tutti i casi contenuti nei diversi database, non è mai stato condotto, se non su piccoli campioni.

Proprio la valutazione dei reali risultati degli interventi appare essere il processo maggiormente inficiato dalle carenze dei database, come dimostrato da Hakkert e Hauer (1988) nell'unico studio in cui le conseguenze di tali carenze sono state analizzate in maniera rigorosa.

Le ragioni di queste carenze sono da ricercarsi principalmente nei metodi manuali e cartacei di raccolta, trascrizione e trasmissione dei dati dalle Forze di Polizia all'ISTAT, metodi, oltretutto, non uniformi fra le diverse Forze.

Altra problematica emersa in relazione ai dati di incidentalità è l'assenza, in oltre il 60% (Fonte ISTAT) degli incidenti rilevati, della corretta localizzazione del sinistro sulla rete viaria, il che risulta essere alquanto preoccupante e si pensa che in mancanza della corretta posizione dell'incidente non è possibile studiare la dinamica che ha portato all'evento incidentale e quindi analizzarne le cause e le eventuali contromisure.

Per poter acquisire dei dati di incidentalità qualitativamente e quantitativamente soddisfacenti in tempi rapidi e in un formato utilizzabile per le analisi (digitali) è necessario adottare un modello organizzativo alternativo del flusso dei dati di incidentalità, basato sul rilievo informatizzato dell'incidente, pur mantenendo la compatibilità con il modello ISTAT vigente.

Nel corso della ricerca di dottorato e nell'ambito di una collaborazione con la Regione Marche, per la realizzazione del Centro di Monitoraggio Regionale, è stato modificato il modello organizzativo riguardante il rilievo degli incidenti, con le seguenti caratteristiche:

- Modulo di raccolta dati con variabili utili sia per la pianificazione della sicurezza stradale (con particolare riferimento alla georeferenziazione degli incidenti stradali) che per la gestione delle pratiche amministrative.
- Estensione della raccolta dati a tutti gli incidenti stradali, inclusi quelli con soli danni alle cose.
- Trasmissione periodica informatizzata dei dati al Centro di Monitoraggio Regionale.

A livello locale, oltre alle informazioni utili per analisi di tipo aggregato, le analisi per la sicurezza stradale sono indirizzate alla pianificazione di interventi sulla rete stradale. L'interesse si sposta su un'area delimitata, su un tronco stradale o su una specifica intersezione.

È importante in tal caso avere informazioni più dettagliate per individuare le probabili cause d'incidentalità. Il modulo di raccolta dati sviluppato è basato sia sul formato dati indicato a livello europeo (CARE/CADaS¹) sia su strutture dati più complesse tratte da database di incidentalità di tipo "in-depth"², sviluppati nell'ambito di progetti europei come SAFETYNET e DACOTA.

Esempi di nuove variabili inserite nel modulo sono le *Coordinate geografiche*, per poter georeferenziare gli incidenti su mappa, le *Condizioni generali di visibilità*, l'*Illuminazione*, il *Traffico al momento del sinistro*, la *Direzione di provenienza*, la *Strada di provenienza/percorrenza*, e la *Manovra* effettuata dal veicolo prima dell'urto, la *Parte del corpo con maggiori lesioni* nel caso di persone coinvolte.

¹ Cfr. D.1.14 CADaS - The Common Accident Data Set, AA.VV. 2008;
http://ec.europa.eu/transport/wcm/road_safety/erso/safetynet/fixed/WP1/D1.14%20CADaS_The%20Common%20Accident%20Data%20Set_Final%20report_2.pdf

² L'in-depth investigation è una metodologia di raccolta dati dettagliata (microscopici) sugli incidenti stradali mirata a comprenderne le reali cause.

Esempi di variabili modificate sono: la *Caratterizzazione dell'intersezione*, la *Regolazione dell'intersezione*, il *Tipo di rimorchio*, le *Conseguenze alle persone*, ecc.

Il modulo è strutturato in quattro sezioni. La prima sezione, *Informazioni generali sull'Incidente*, contiene le variabili riferite all'incidente, la seconda sezione, *Informazioni generali sul Veicolo*, contiene le variabili riferite ad ogni veicolo coinvolto nell'incidente, la terza sezione, *Informazioni generali sull'Utente Coinvolto*, contiene le variabili riferite ad ogni persona coinvolta (conducenti, passeggeri e pedoni), la quarta sezione riguarda le *Violazioni* riscontrate.

Si riportano di seguito le variabili, con carattere aggiuntivo rispetto al modulo ISTAT e al formato CADaS, presenti nel database della Regione Marche. Le variabili sono state ripartite in quattro entità che costituiscono la struttura del database: Incidente, Veicolo, Persona e Violazione. L'incidente è inoltre associato a un elemento del database con il grafo della rete stradale (Figura 2-2).

L'esempio fa riferimento alle variabili riferite ai veicoli coinvolti:

- Colore.
- Tipo rimorchio.
- Presenza di ostacoli alla visibilità per il conducente.
- Posizione finale del veicolo.
- Posizione del veicolo al momento dell'urto.
- Direzione di percorrenza (rispetto alla progressiva chilometrica o alla numerazione civica).
- Obbligo e presenza del cronotachigrafo.
- Limite di velocità della categoria di veicolo.
- Funzionamento airbag.
- Totale airbag presenti sul veicolo.
- Stato generale di manutenzione.
- Marcia inserita.
- Veicolo in sosta.
- Stato degli pneumatici (anteriori e posteriori).

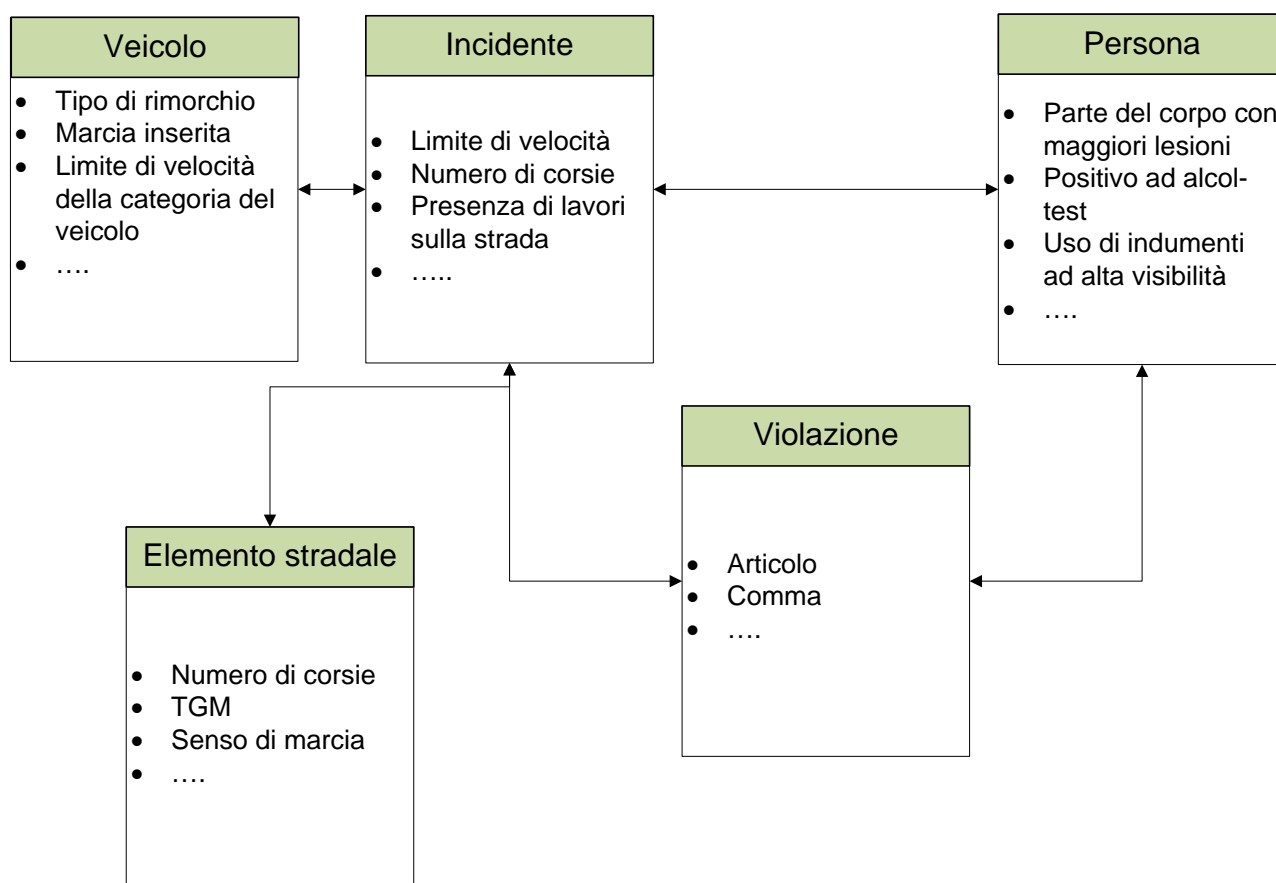


Figura 2-2 Esempio di struttura database Incidenti stradali

In allegato è possibile vedere la scheda di raccolta dati con evidenziati in giallo i campi aggiuntivi rispetto al modulo Istat.ctt.

Per dare un'idea delle differenze in termini di quantità di informazioni rilevabili, in Tabella 2-1 si riporta un confronto tra il numero di variabili associate ai diversi elementi costitutivi presenti nel modulo Istat.ctt e nel modulo di raccolta previsto nella Regione Marche.

Tabella 2-1 Informazioni associate all'incidente nel Modulo ISTAT e confronto con altri database

	Modulo Istat .ctt	Database Regione Marche
Incidente	23	90
Veicolo	11	48
Persona	11	27
Violazione		5

2.2 Il sistema di supporto alle decisioni ISIDE

Per affrontare e risolvere le problematiche, sia relative ai dati che alla gestione delle informazioni, il gruppo di ricerca ha sviluppato un sistema informativo di supporto alle decisioni (DSS) per la sicurezza stradale: ISIDE (*Instrumentation for Safety Improvement, Design and Evaluation*).

Il DSS è uno strumento basato sull'informatizzazione del processo di analisi e di pianificazione e cerca di migliorare le capacità decisionali dei progettisti durante l'identificazione delle possibili

cause d'incidentalità e durante la scelta degli interventi più efficaci per uno specifico sito, in base al minor rapporto costi/benefici.

L'approccio sistematico del DSS si articola secondo otto principali blocchi (vedi Figura 2-3):

1. Acquisizione dati.
2. Analisi dei dati.
3. Aggiornamento dei parametri dei modelli.
4. Definizione della situazione attuale.
5. Definizione degli scenari di domanda ed offerta.
6. Scelta degli interventi.
7. Valutazione dei risultati a posteriori.
8. Analisi RIA (Road Safety Impact Assessment).

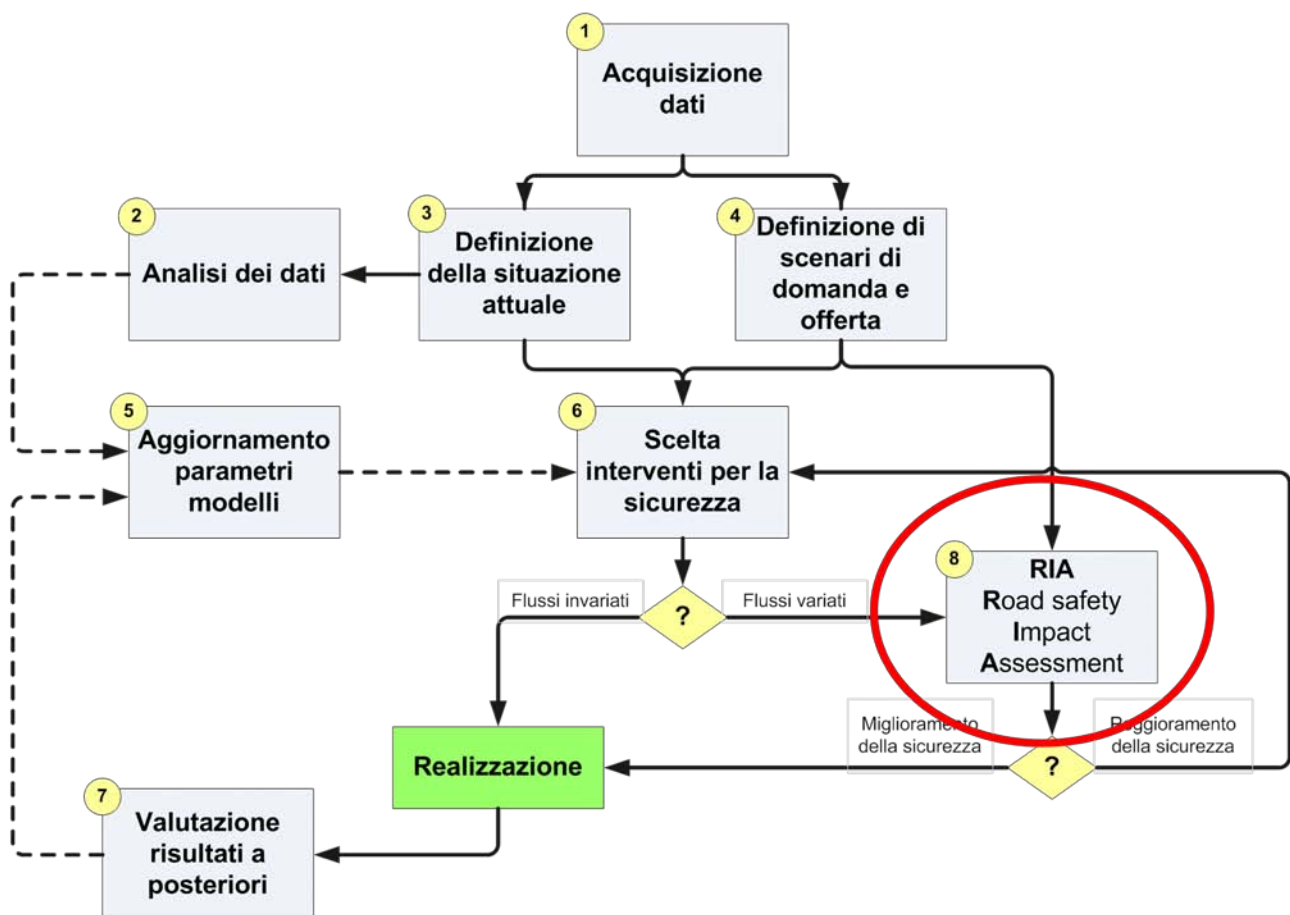


Figura 2-3 Schema funzionale del DSS ISIDE

Il primo blocco nasce dall'esigenza di fornire al sistema tutte le informazioni necessarie per poter effettuare l'analisi a priori. Per condurre un'analisi di incidentalità appropriata ed affinare le strategie di intervento, è necessario integrare e collegare, tramite appositi supporti informatici, le

informazioni relative agli incidenti stradali con quelle relative alle caratteristiche della rete e del traffico. L'utilizzo efficace di un modello matematico dipende infatti da quali informazioni sono disponibili e da quale è la loro affidabilità. Alla base dell'operatività dello strumento risulta, quindi, fondamentale avere un database congruo e completo di dati. In sintesi, la dotazione di un modulo di acquisizione e gestione dati e di un database integrato ha consentito di registrare e gestire tutte le informazioni raccolte.

Il secondo ed il terzo blocco definiscono le analisi dei dati. In particolare, le analisi svolte si basano sui dati d'incidentalità forniti dalle fasi di rilievo. L'analisi prevede il monitoraggio del fenomeno e la sua interpretazione; man mano che i dati vengono registrati è possibile analizzare l'evoluzione del fenomeno e caratterizzare l'area dal punto di vista dell'incidentalità stradale. Una quantificazione degli incidenti da un'idea dell'entità del fenomeno, indicatori opportuni permettono confronti con altre realtà, una spazializzazione dei dati (possibile grazie alle mappe tematiche presenti nel GIS) localizza il problema e un'analisi statistica appropriata indica le possibili problematiche dell'area e fornisce un punto di partenza iniziale per formulare strategie opportune.

Parallelamente all'analisi dei dati, il quarto blocco, consente di valutare se interventi quali quelli previsti dai vari strumenti di pianificazione (es PGTU, PUT, PUM, ecc), o ad esempio nuovi schemi di circolazione, oppure interventi sulla sicurezza o ancora interventi di nuove infrastrutture viarie, possono produrre modifiche sull'attuale domanda ed offerta di trasporto.

Successivamente alla raccolta ed acquisizione dati, dal punto di vista funzionale, si passa alla scelta degli interventi (blocco sei), che prevede l'identificazione degli elementi critici della rete, l'individuazione delle possibili cause d'incidente, da verificare tramite un'analisi di tipo *Safety Inspection*, ed l'identificazione dei possibili interventi correttivi, intesi come veri e propri pacchetti di contromisure.

Questi pacchetti sono valutati attraverso un'analisi costi-benefici o costi-efficacia. Prima di effettuare questa valutazione, che consiste in sostanza in un confronto tra l'incidentalità presente e l'incidentalità prevista dopo l'implementazione degli interventi stimata in termini di coefficienti di riduzione dell'incidentalità (CRF), si verifica se gli interventi avranno un impatto rilevante sul traffico.

Se si ritiene che il pacchetto di interventi previsti abbia un effetto rilevante sul traffico, il processo ricade all'interno del modulo RIA (*Road Safety Impact Assessment*), blocco otto. A tal proposito, si costruisce lo scenario di progetto (con flussi variati) e si calcola attraverso simulazione di traffico la nuova distribuzione dei flussi veicolari. Successivamente, grazie alle funzioni di prestazione (SPF), che permettono di valutare l'evoluzione della sicurezza al variare di alcuni parametri (come flussi veicolari, caratteristiche delle strade, ...), è possibile avere una stima dell'incidentalità sia a livello locale che a livello di rete. L'informazione circa l'incidentalità insieme ai costi sociali (definiti nel capitolo 5) permetteranno di conoscere il costo sociale associato all'incidentalità stimata.

Infine, dalla scelta degli interventi e dalla valutazione degli scenari si procede alla realizzazione degli interventi. L'esito degli interventi sarà monitorato per poter definire se e quanto i correttivi adottati hanno dato i risultati attesi. L'attività di monitoraggio, detta in questo caso valutazione dei risultati (blocco sette), sarà svolta attraverso un'analisi before/after per verificare l'effettivo raggiungimento degli obiettivi fissati in sede di pianificazione e di analizzare le cause di eventuali scostamenti, conferendo al processo di pianificazione un reale carattere di dinamicità. Il confronto tra i risultati attesi e l'esito degli interventi sarà inoltre, il feedback correttivo per l'aggiornamento dei parametri dei modelli del sistema (blocco cinque).

Partendo da queste considerazioni sono stati declinati due obiettivi principali della tesi di dottorato:

- sviluppare una libreria di modelli per la previsione dell'incidentalità (SPF);
- sviluppare un modulo (RIA: analisi comparativa strategica dell'impatto di una nuova strada o di una modifica sostanziale della rete esistente sul livello di sicurezza della rete stradale) per la valutazione degli effetti, sulla sicurezza stradale, di interventi che determinano modifiche nella configurazione di traffico, per il DSS ISIDE

Riprendendo le indicazioni della Direttiva 96/2008 della Commissione Europea, in cui si evidenzia una particolare attenzione alla valutazione della sicurezza stradale a seguito di variazioni dell'offerta di trasporto, la presente ricerca amplia l'analisi in termini più generali inglobando la valutazione della sicurezza a livello di pianificazione del traffico.

Già all'interno della Direttiva per la redazione, adozione ed attuazioni dei Piani Urbani del traffico – PUT (art. 36 del decreto legislativo 30 aprile 2002, n.285 Nuovo Codice della Strada), si riportavano indicazioni sul miglioramento della sicurezza stradale. In particolare, il PUT deve perseguire il miglioramento della sicurezza stradale e la consistente riduzione degli incidenti, mediante la separazione ed il controllo delle diverse componenti di traffico, l'attuazione di proposte derivanti da specifiche analisi tecniche sulle cause degli incidenti stradali, con riferimento a quelle relative a carenze infrastrutturali e/o di controllo del traffico.

Ne consegue quindi che, a valle delle indicazioni riportate dalla Direttiva per la redazione dei PUT, la Direttiva della Commissione Europea prescrive che oltre a valutare la sicurezza a livello locale, è necessario valutare la sicurezza più in termini generali, ovvero le analisi non devono soltanto considerare le strade soggette a variazioni di flussi, ma anche la rete adiacente.

L'approccio che si segue è quindi verificare se interventi strutturati per la sicurezza o non, possano incidere sulla domanda e/o sull'offerta di trasporto e conseguentemente effettuare un'analisi integrale della sicurezza allargata a tutti gli elementi della rete che possano subire variazioni rispetto allo stato attuale.

Il processo di valutazione della sicurezza si articola in tre principali passi, come riportato all'interno della Figura 2-4. Il processo analizza gli interventi e i programmi previsti, successivamente ne valuta la variazione in termini di domanda e di offerta di trasporto ed infine ne verifica gli effetti sulla sicurezza. Nel valutare gli effetti sulla sicurezza si ricorre all'uso delle *Safety Performance Functions* (SPF).

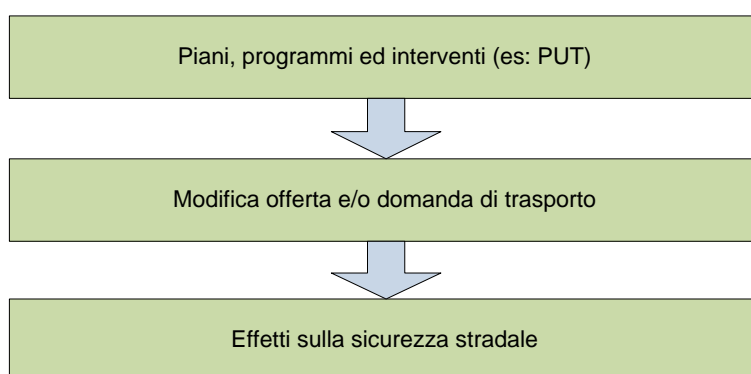


Figura 2-4 Processo di valutazione della sicurezza

2.3 L'approccio metodologico

L'approccio metodologico che ha interessato la ricerca di Dottorato è rappresentato in Figura 2-5.

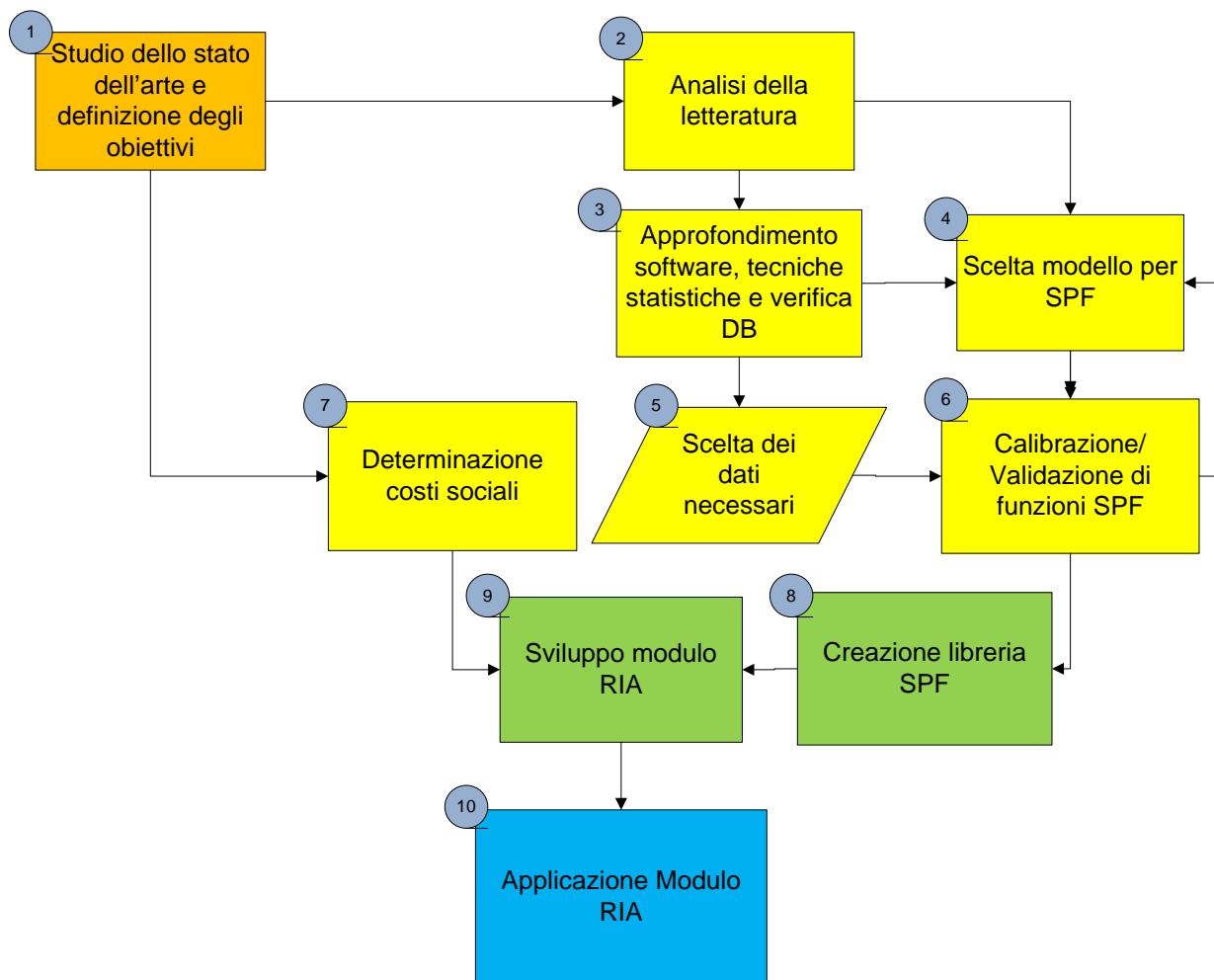


Figura 2-5 Approccio metodologico della ricerca di Dottorato

Dopo una prima fase di studio dello stato dell'arte relativo alle problematiche di sicurezza stradale e dopo aver definito gli obiettivi della ricerca (1), si è passati all'analisi della letteratura esistente (2) e all'approfondimento di tecniche statistiche utili allo studio dei dati e alla verifica dei database da poter utilizzare (3).

Sulla base degli studi tratti dalla letteratura e dagli approfondimenti statistici, nonché dallo studio dei database, sono state studiate le possibili tipologie di modelli per le SPF (4).

Lo studio della tipologia di modelli ha compreso inizialmente i modelli lineari, che però presentavano diverse criticità:

- un modello lineare non può riprodurre una realtà non lineare come quella dell'incidentalità;
- la distribuzione della variabile risposta è solo di tipo normale;
- sono modelli additivi che porterebbero una previsione di incidentalità anche in presenza di flussi nulli.

Si sono studiati poi i modelli lineari generalizzati, in particolare i modelli di conteggio. In questo caso la famiglia di funzioni a cui ubbidisce la variabile risposta è più ampia, comprendendo anche la distribuzione di Poisson, la distribuzione Binomiale Negativa, ecc.

Una volta scelta la tipologia di modello si è passati alla definizione delle variabili in gioco, in base ai dati disponibili (5). In particolare i dati a disposizione comprendevano:

- Rete stradale con caratteristiche dell'infrastruttura, con elementi stradali disaggregati in base a:
 - ambito (urbano/extraurbano);
 - classe funzionale / numero di corsie;
 - sistema di controllo del traffico (tipologia di intersezione, rotatoria);
 - lunghezza degli archi.
- Flussi di traffico in termini di Traffico Giornaliero Medio (TGM).
- Dati di incidentalità georeferenziati (numero di incidenti, gravità, ecc).

Sulla base dei dati in possesso e della tipologia di modello scelta, si sono calibrate le funzioni SPF per gli ambiti urbano ed extraurbano (6).

Per effettuare una corretta valutazione degli interventi anche in termini di costi, sono stati determinati i costi sociali dell'incidentalità (7). Nell'ambito dell'assistenza tecnica e amministrativa al Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti per il monitoraggio del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale è stato possibile effettuare uno studio per la valutazione dei costi sociali dell'incidentalità stradale.

A questo punto, dopo aver calibrato le SPF per gli ambiti urbano ed extraurbano, quindi aver creato la libreria di funzioni (8), queste, insieme alla stima dei costi sociali sono state implementate all'interno del Modulo RIA di ISIDE (9).

Infine sono state realizzate delle applicazioni agli ambiti urbano (Comune di Terni) ed extraurbano (Regione Lazio) della metodologia, mostrando gli output dell'analisi in termini di previsioni di incidentalità (numero di incidenti e costi) (10).

3 Safety Performance Functions

3.1 Stato dell'arte

Attualmente le tecniche per analizzare le relazioni tra componenti dell'ambiente stradale e incidentalità sono relativamente consolidate e si basano sulle "Safety Performance Function" (funzioni di prestazione per la sicurezza, SPF), che esprimono il livello di sicurezza che può essere assegnato ad un elemento dell'infrastruttura stradale (incrocio, tronco, ecc.).

Maycock e Hall (1984) sono probabilmente i primi a dover utilizzato un modello lineare generalizzato (GLM) per stimare gli incidenti stradali, applicandolo ad una rotatoria a quattro braccia nel Regno Unito.

Le molte SPF riportate in letteratura sono sia di tipo deterministico che di tipo probabilistico. Funzioni di tipo deterministico sono riportate ad esempio nello studio di Corona et al. (1999) in cui sono messi in relazione gli indici di incidentalità e le caratteristiche geometriche e funzionali della rete stradale sarda.

I modelli probabilistici tengono conto di dati di input relativi all'incidentalità, alla collocazione geografica del sito interessato, alle caratteristiche dell'infrastruttura (incrocio, curva, rettilineo), alle caratteristiche di controllo (semaforo, strisce pedonali) e ad altre variabili di normalizzazione che rendono confrontabili i dati di un evento con altri contesti (periodo di osservazione, ampiezza del sito osservato, flussi di traffico, condizioni ambientali, e cc.). Esempi di SPF probabilistiche si ritrovano in Turner et al. (1997), Persaud et al. (1997), ed in Mensah (1999).

Inizialmente la ricerca, per costruire modelli a venti gli incidenti come variabile dipendente, si è concentrata sull'uso della regressione lineare multipla. Tuttavia, la validità di questa tecnica statistica si basa sull'assunto che la variabile dipendente sia normalmente distribuita, il che risulta in contraddizione con le caratteristiche degli incidenti stradali (si tratta infatti di un fenomeno in realtà non lineare).

Un tipico esempio di funzione lineare per determinare l'incidentalità è:

$$y = \text{lunghezza} \cdot (\beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + \beta_2 \cdot X_2 + \dots)$$

Hauer (*Statistical Safety Modeling*) evidenzia due inadeguatezze relativamente alla suddetta equazione. Si ponga che X_1 rappresenti il flusso di traffico e che X_2 rappresenti la larghezza delle corsie. La logica del modello additivo denota che anche se non presente alcun traffico veicolare il modello produce ugualmente una previsione degli incidenti. Una ulteriore carenza del modello sta proprio nella struttura lineare. Infatti, per un TGM pari a 10.000, il numero di incidenti dovrebbe essere minore di 10 volte rispetto a quello con un TGM pari a 1.000. In altre parole la forma lineare non può rappresentare una realtà non lineare.

Ulteriori inadeguatezze sulla forma lineare della funzione di prestazione, che non risulta appropriata per collegare i flussi di traffico agli incidenti stradali, sono state evidenziate da Turner et al. (1997). Essendo il numero degli incidenti discreto, la sua variazione dovrebbe essere rappresentata da una distribuzione discreta piuttosto che da una distribuzione normale continua. Inoltre, c'è una evidenza empirica che la varianza nel numero degli incidenti non è costante, ma tende ad aumentare con il

flusso veicolare. Infine, il numero degli incidenti non può essere negativo, cosa che invece si verifica se il flusso è piccolo o il numero atteso degli incidenti è piccolo.

Vista quindi la carenza dei modelli lineari, legata soprattutto all'ipotesi che la distribuzione di probabilità sia di tipo normale, sono stati introdotti modelli che eliminano questa problematica. In particolare, sono stati adottati modelli Poissoniani e modelli a regressione binomiale negativa.

La scelta tra la funzione di tipo Poissoniano e quella di tipo binomiale negativa, secondo Maher et al. (1996), si basa sulla variabilità del numero di incidenti rilevati per particolari condizioni di traffico. Se la varianza è simile alla media, la distribuzione di Poisson risulta essere più appropriata, altrimenti se la varianza è sostanzialmente maggiore della media è preferibile utilizzare la distribuzione binomiale negativa.

L'utilizzo, quindi, di modelli basati su ipotesi di distribuzione poissoniana, o negativa binomiale, sembra più appropriato per l'analisi dell'incidentalità. Tra l'altro tali modelli si adattano meglio a database di piccole dimensioni quali ad esempio zero o prossime allo zero.

I modelli di regressione, anche se sono strumenti precisi per predire il numero atteso di incidenti per un sito o classi di siti, non forniscono certezze sugli effetti delle caratteristiche dell'infrastruttura o delle caratteristiche del traffico in modo separato. L'inconveniente dei modelli di regressione è che sono basati su correlazioni statistiche tra le caratteristiche della strada e gli incidenti che non necessariamente rappresentano la correlazione di causa-effetto. Inoltre, se le variabili indipendenti nel modello sono fortemente correlate una all'altra è difficile separare il loro individuale effetto.

Una ulteriore critica ai modelli di tipo moltiplicativo viene portata da Hauer (*Statistical Safety Modeling*) il quale evidenzia alcune problematiche legate alla forma dei modelli necessari alla stima della frequenza degli incidenti attesi.

La prima critica sollevata da Hauer è relativa ai fattori X^β e $e^{\beta X}$ che non possono rappresentare relazioni che riportano picchi o inflessioni (vedi Figura 3-1).

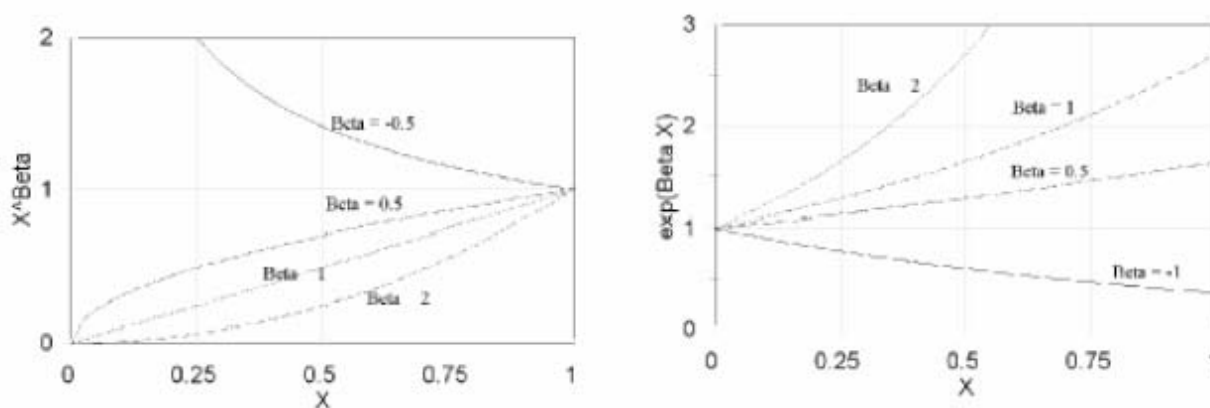


Figura 3-1 Funzioni tipo X^β e $e^{\beta X}$

La seconda critica riguarda l'individuazione del livello di sicurezza su un segmento stradale. In particolare, nel caso in cui siano presenti punti di rischio, il numero di incidenti generati da tali elementi deve essere sommato al numero di incidenti generati sull'elemento stradale senza la presenza dei punti di rischio. La semplice somma degli incidenti al modello previsionale non riesce a tenere in considerazione la densità e la distribuzione di tali punti critici.

Tali considerazioni hanno quindi portato Hauer a suggerire una funzione costituita sia da una parte moltiplicativa che da una addizionale. Il ruolo della parte moltiplicativa sta nel rappresentare l'influenza dei fattori che generalmente sono distribuiti lungo il tracciato, mentre il ruolo di quella additiva è di considerare l'influenza e la densità dei punti di rischio. Infine, Hauer propone che la forma della funzione dovrebbe essere guidata dalla necessità di replicare ciò che i dati suggeriscono.

La funzione di Hauer è dunque del tipo:

$$y = (\text{parametri scala}) \cdot [\text{lunghezza} \cdot (\text{parte Moltiplicativa}) + \text{parte Additiva}]$$

L'espressione riporta quindi il numero di incidenti attesi su un determinato segmento stradale in un determinato anno, per dati valori del TGM, larghezza della banchina, ecc. Ne consegue che, inoltre, i parametri di scala riportati nella funzione possono cambiare di anno in anno riflettendo il cambiamento del tempo, l'utilizzo demografico della strada, ecc.

In letteratura si trovano differenti modalità previsionali in cui l'incidentalità stradale è legata a differenti fattori che possono incidere sul fenomeno, pertanto è possibile trovare funzioni che esprimono gli incidenti sia in ambito urbano che extraurbano, oppure per intersezioni stradali segnalate o no ed ancora per elemento stradale.

La letteratura suggerisce anche che i modelli sviluppati in un paese non possono semplicemente produrre stime affidabili degli incidenti quando applicate direttamente in un altro paese (Hills et al., 2002). Ciò è dovuto alle grandi differenze tra paesi in termini di livelli e composizione di traffico, di standard autostradali, di comportamenti degli utenti della strada, di formazione e anche di controllo e repressione.

3.2 Tipologia di modelli utilizzabili per le SPF

Per molti anni sono state applicate tecniche statistiche per sviluppare modelli per prevedere gli incidenti sulle strade e alle intersezioni. Tali modelli sono stati sviluppati utilizzando dati d'incidentalità stradale e dati delle caratteristiche delle strade (flussi di traffico, geometria, ecc) selezionando appropriate forme funzionali per il modello e utilizzando regressioni per stimare il valore dei coefficienti o parametri del modello.

Possibili modelli statistici sono, ad esempio, quelli lineari o i modelli lineari generalizzati (GLM).

I modelli di tipo lineare generalmente non si prestano all'analisi del fenomeno dell'incidentalità stradale poiché questi non possono rappresentare una realtà non lineare come quella dell'incidentalità.

I modelli lineari generalizzati costituiscono un'estensione dei modelli lineari tradizionali. L'impiego di tali modelli consente di:

- Ampliare la famiglia di funzioni a cui ubbidisce la distribuzione delle variabili responso. Non più quindi solo la distribuzione normale come per i modelli lineari tradizionali, ma tutte le distribuzioni appartenenti alla famiglia esponenziale (Binomiale, Gamma, Poisson).
- Eliminare il limite, proprio dei modelli lineari tradizionali, costituito dalla necessità di operare in condizioni di costanza, al variare delle x , della varianza dei residui. Con i modelli GLM si opera anche in condizioni di varianza variabile.

- Introdurre nella costruzione del modello la funzione di legame (funzione link).

Le componenti di un modello GLM sono:

- Componente casuale: il vettore delle osservazioni è costituito da n componenti (osservazioni) che si distribuiscono secondo una data di distribuzione statistica (logit, poissoniana, binomiale negativa, ecc) del tipo $f(y|\beta)$
- Componente sistematica: le k covariate combinandosi linearmente con i k coefficienti β formano un predittore lineare nella forma

$$\eta = \sum_{j=1}^k x_j \beta_j$$

- La funzione link: per superare i vincoli di dominio della variabile risposta è necessario frapporre fra la stessa variabile risposta e il predittore lineare η una funzione link del tipo

$$\eta_i = g(\mu_i)$$

Funzione che deve assicurare la derivabilità e l'invertibilità ($\mu_i = g^{-1}(\eta_i)$)

Per studiare meglio il fenomeno dell'incidentalità è necessario utilizzare una categoria di modelli generali lineari, chiamati modelli di conteggio, all'interno dei quali troviamo ad esempio il Modello di Poisson, il Modello Binomiale Negativo, i Modelli Zero-Inflated (Figura 3-2).

Modelli GLM

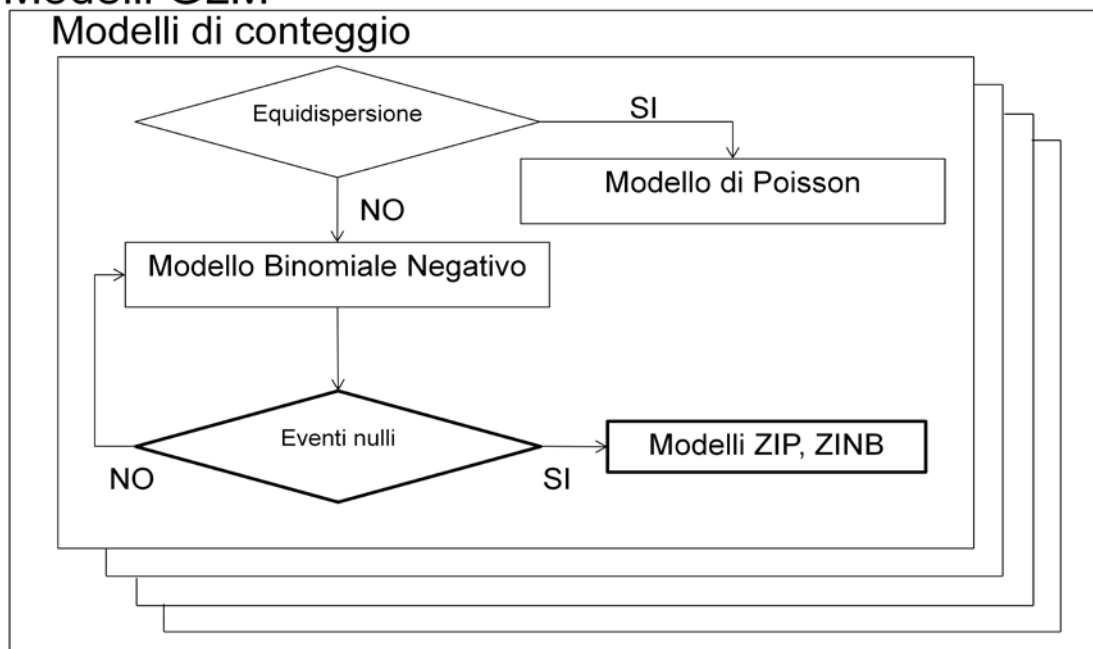


Figura 3-2 Tipologie di modelli studiati

Modello di Poisson

Per una corretta inferenza dei parametri del modello Poissoniano è richiesta la corretta specificazione di media e varianza, secondo le ipotesi proprie di una distribuzione poissoniana

(equidispersione). La restrizione imposta (equidispersione, ossia $E(y|X) = \text{VAR}(y|X)$) per considerare valido un modello poissoniano è analogo alla restrizione propria dei modelli classici lineari riguardante l'omoschedasticità dei residui (varianza dei residui costante).

Il Modello Poissoniano ha la funzione di distribuzione del tipo:

$$f(y_i | x_i \beta) = \frac{e^{-\mu_i} \mu_i^{y_i}}{y_i!}$$

Funzione link

$$g(\mu_i) = \eta_i$$

$$\log \mu_i = \eta_i = \sum_{k=1}^p x_{ik} \beta_k$$

Da cui

$$\mu_i = \exp \left(\sum_{k=1}^p x_{ik} \beta_k \right)$$

Modello Binomiale Negativo

La controindicazione principale nell'impiego del modello poissoniano è che in pratica non è quasi mai rispettato il vincolo di equidispersione ($E(y|X) = \text{VAR}(y|X)$). Senza considerare la possibilità di applicare ancora il modello poissoniano in condizioni di violazione del vincolo di equidispersione, purché si adottino i necessari accorgimenti, quando la varianza della distribuzione si allontana dal suo valore atteso è opportuno far riferimento ad una distribuzione di probabilità alternativa, la binomiale negativa, che ammette forme funzionali della varianza diverse dall'equivalenza tipica della poissoniana.

Tre sono le cause fondamentali di sovra dispersione:

- Eterogeneità inosservata: il parametro μ , che in una poissoniana è costante, in altri processi non riproducibili con una poissoniana è una variabile casuale. Si parla in questo caso di approccio misto (gli eventi sono una variabile casuale (y) governati da un parametro μ , esso stesso, variabile casuale).
- Il processo che genera il primo evento è diverso dal processo che genera gli eventi successivi (es. le visite dal dottore, la prima consultazione scelta del paziente, le successive sono determinate dal dottore).
- Fallimento dell'ipotesi di base di indipendenza degli eventi.

Modelli Zero-Inflated

Nel caso in cui i dati presentino una quantità eccessiva di zeri, è possibile considerare i Modelli Zero Inflated. Nel caso particolare dell'incidentalità questo è possibile in quanto se consideriamo l'insieme degli elementi di un grafo stradale e consideriamo gli incidenti avvenuti sulla rete è possibile notare come ci siano alcuni elementi interessati dagli incidenti, e tanti altri non interessati. E' questo quindi un caso in cui ci sono, nel database, diversi zeri da considerare.

Tali modelli sono formati da due parti, una che interessa l'analisi dei punti non con gli zeri, e l'altra che interessa l'analisi con gli zeri. Questa seconda parte può seguire la distribuzione di Poisson, nel qual caso avremo modelli ZIP (*Zero Inflated Poisson*) oppure seguire una distribuzione Binomiale Negativa, nel qual caso avremo modelli ZINB (*Zero Inflated Negative Binomial*).

4 Creazione della libreria delle Safety Performance Functions

4.1 Dati Necessari

La necessità di valutare gli effetti sulla sicurezza di un intervento sull'infrastruttura porta a dovere far interagire fra di loro diverse tipologie di dati. Nello specifico, e sulla base della letteratura analizzata, i dati necessari all'analisi sono fondamentalmente di tre tipi:

- dati di incidentalità;
- dati di mobilità;
- dati sulle caratteristiche infrastrutturali.

Di seguito vengono descritti i dati raccolti e le analisi fatte su di essi per verificarne l'applicabilità.

I dati sono stati richiesti ad alcune Amministrazioni Pubbliche con le quali il gruppo di lavoro collabora, nello specifico:

- Comune di Reggio Calabria.
- Comune di Ciampino.
- Comune di Parma.
- Comune di Salerno.
- Comune di Terni.

I dati richiesti sono stati:

- Dati di incidentalità (georeferenziati sul grafo stradale, per poter associare gli incidenti a gli elementi della rete).
- Dati di mobilità (flussi di traffico e matrice Origine Destinazione - OD).
- Dati relativi all'infrastruttura (grafo georeferenziato dell'area, con indicazione di numero di corsie, larghezza, ecc).

4.1.1 Dati di incidentalità

I dati di incidentalità sono stati richiesti alle Amministrazioni che utilizzano il software SFINGE® (*Software For Incident and Geographic Evaluation*), sviluppato dal CTL in collaborazione con la IT Ingegneria dei Trasporti e con la Polizia Municipale di Roma.

Il sistema di rilievo georeferenziato sperimentato all'interno del V Municipio del Comune di Roma aveva i seguenti obiettivi:

- migliorare ed informatizzare il database degli incidenti;
- creare una banca dati degli incidenti collegandolo alle caratteristiche delle strade e del traffico;
- studiare metodologie per l'interpretazione dei dati di incidentalità stradale.

L'esperienza, durata complessivamente sei mesi, ha permesso di raccogliere 155 incidenti. La strumentazione completa di cui erano dotati gli agenti era composta da: un computer portatile, una fotocamera digitale, uno scanner (per l'inserimento di ulteriori documenti) ed una stampante.

I dati di incidentalità forniti dalle Amministrazioni sono riportati in Tabella 4-1.

Tabella 4-1 Dati di incidentalità forniti dalle Amministrazioni

Amministrazione	Date incidenti	Totale incidenti	Incidenti georeferenziati	Percentuale incidenti georeferenziati
Comune di Reggio Calabria	Fra il 2004 e gennaio 2010	5.316	1.604	30%
Comune di Ciampino	Fra il 2007 e gennaio 2010	679	486	72%
Comune di Parma	Fra il 2005 e febbraio 2009	4.494	4.456	99%
Comune di Salerno	Fra il 2006 e 2009	2.795	2.779	99%
Comune di Terni	Fra il 2003 e giugno 2011	6.742	6.600	98%

Nel corso della ricerca di Dottorato è stato possibile utilizzare anche i dati relativi all'incidentalità della Regione Lazio. I dati erano relativi agli incidenti avvenuti negli anni 2006 -2007 (dati ACI/ISTAT). In molti casi non era riportata la localizzazione del sinistro e, per diversi elementi stradali i dati disponibili non hanno consentito di stabilire il numero esatto di incidenti per chilometro. Gli elementi sono stati quindi considerati appartenenti ad un unico tratto cui è stato attribuito un valore medio di numero di incidenti per chilometro.

4.1.2 Dati di mobilità

Per quanto riguarda i dati di mobilità, sono stati richiesti alle Amministrazioni dati relativi ai flussi di traffico e alle Matrici Origine Destinazione (OD). Fra tutte le Amministrazioni contattate solo il Comune di Terni ha fornito i rilievi dei flussi di traffico relativi a 71 sezioni e la matrice OD relativa all'anno 1996.

I dati di traffico erano relativi, per ogni sezione, ai veicoli transitanti per 365 giorni all'anno, 24 ore su 24. Il database era suddiviso in intervalli temporali di 6 minuti. Per poter utilizzare tali dati è stato necessario definire il traffico equivalente associando ad ogni tipologia di veicolo un coefficiente di equivalenza (Tabella 4-2).

Tabella 4-2 Tipologia di veicoli e coefficienti di equivalenza utilizzati

Veicolo	Coefficiente di equivalenza
Motoveicoli	0,5
Veicoli con lunghezza fino a 4 metri	1,0
Veicoli con lunghezza fra i 4 e gli 8 metri	1,2
Veicoli con lunghezza fra gli 8 e i 12 metri	1,8
Veicoli con lunghezza superiore ai 12 metri	2,5

A questo punto è stato determinato il Traffico Giornaliero Medio (TGM) per ogni sezione di rilievo, applicando la Formula di Ginevra:

$$TGM_{TOTALE} = TGM_{DIURNO} + TGM_{NOTTURNO}$$

$$TGM_{DIURNO} = \frac{1}{2}(TGM_{DE} + TGM_{DI})$$

$$TGM_{NOTTURNO} = \frac{1}{2}(TGM_{NE} + TGM_{NI})$$

In cui:

$$TGM_{DE} = \frac{1}{7} \left(n + \frac{e+h}{2} + \frac{f+m}{2} + l + 3 \frac{g+i}{2} \right)$$

rappresenta il traffico giornaliero medio, primavera – estate, diurno;

$$TGM_{DI} = \frac{1}{7} \left(r + \frac{a+o}{2} + \frac{b+p}{2} + c + 3 \frac{d+q}{2} \right)$$

rappresenta il traffico giornaliero medio, autunno – inverno, diurno;

$$TGM_{NE} = \frac{1}{7} (4gN + nN + fN + hN)$$

rappresenta il traffico giornaliero medio, primavera – estate, notturno;

$$TGM_{NI} = \frac{1}{7} (5dN + pN + oN)$$

rappresenta il traffico giornaliero medio, autunno – inverno, notturno.

La Tabella 4-3 definisce l'associazione tra i simboli indicati nelle formule e mesi e giorni:

Tabella 4-3 Associazione fra coefficienti della Formula di Ginevra, Mesi e Giorni dell'anno

Diurno	Notturmo	Mese	Giorno
a		Gennaio	Sabato
b		Febbraio	Domenica
c		Febbraio	Lunedì
d	dN	Marzo	Mercoledì-Giovedì
e		Aprile	Sabato
f	fN	Maggio	Domenica-Lunedì
g	gN	Giugno	Mercoledì-Giovedì
h	hN	Maggio	Sabato-Domenica
i		Giugno	Lunedì
l		Luglio	Martedì
m		Luglio	Domenica
n	nN	Settembre	Venerdì-Sabato
o	oN	Ottobre	Sabato-Domenica
p	pN	Novembre	Domenica-Lunedì
q		Novembre	Mercoledì
r		Dicembre	Venerdì

E' stato disegnato il profilo orario giornaliero, di ogni sezione, e si è determinata la percentuale rispetto alla giornata del traffico nell'ora di punta mattutina 8:00 – 9:00. Ottenuta per ogni sezione questa percentuale e moltiplicando tale valore per il TGM si è ottenuto il Traffico Orario Medio (THM).

Una volta determinato il THM per ogni sezione questo è stato utilizzato per ricostruire la matrice OD del 1996. Tale matrice è composta da 58 elementi (origini e destinazioni). Nel caso del Comune di Terni all'interno del centro della città era presente una Zona a Traffico Limitato (ZTL), quindi la matrice è stata ricostruita tenendo in considerazione anche questa particolarità del centro della città.

Dopo aver calibrato la matrice e fatto la prima assegnazione dei flussi di traffico, attraverso i coefficienti visti precedentemente, è stato possibile riportare il THM stimato su tutti gli archi del grafo al TGM, necessario per le analisi di incidentalità.

Il software utilizzato sia per la ricalibrazione della matrice OD che per le simulazioni dei flussi di traffico è TransCAD®. La procedura di ricalibrazione della matrice è basata sul principio di ricercare quella matrice che risulta "vicina" a quella di partenza e che sia compatibile con i flussi

misurati. In particolare, la ricalibrazione della matrice è stata effettuata secondo l'algoritmo di *Nielsen*, mentre l'assegnazione dei flussi di traffico alla rete è stata effettuata con il metodo dello *User Equilibrium*.

Nel caso invece della Regione Lazio si è fatto riferimento ai flussi di traffico risultanti dalle simulazioni effettuate nell'ambito del Piano Regionale del Trasporto Merci e della Logistica predisposto dal CTL.

4.1.3 Dati relativi all'infrastruttura

Altre tipologie di dati necessari alla ricerca sono i dati relativi all'infrastruttura. In particolare è stato richiesto alle Amministrazioni il grafico stradale (possibilmente con le caratteristiche dell'infrastruttura) georeferenziato, in modo da poter associare gli incidenti agli elementi stradali (archi e nodi).

I dati restituiti dalle Amministrazioni sono riportati in Tabella 4-4.

Tabella 4-4 Dati sull'infrastruttura forniti dalle Amministrazioni

Amministrazione	Numero di Archi	Numero di Nodi	Lunghezza complessiva rete [Km]	Lunghezza massima archi [Km]
Comune di Reggio Calabria	8.119	6.283	847,6	3,04
Comune di Ciampino	2.156	1.788	247,8	1,18
Comune di Parma	7.982	5.934	1.030	3,07
Comune di Salerno	7.228	5.763	653	2,8
Comune di Terni	3.483	2.688	520,8	1,83

Il Comune di Terni ha inoltre fornito la mappa della Zona a Traffico Limitato (ZTL) e dei sensi unici del centro città.

Sulla base dei dati reperiti sono state effettuate delle analisi sul grafo, suddividendo gli archi per classi di lunghezze in modo da verificarne la distribuzione. È stata disegnata la distribuzione delle frequenze per classi inizialmente di 20 metri, poi per classi di 40 metri, infine è stato scelto di puntare l'attenzione sulle classi di archi più numerose, quelle cioè fra i 20 e i 100 metri.

Tali analisi sono state fatte per tutti i dati relativi ai grafi forniti dalle Amministrazioni, di seguito è possibile vedere, in Figura 4-1, quello relativo al grafo del Comune di Terni. Tali analisi sono state effettuate per comprendere la distribuzione dei dati in positivo e valutare la tipologia di distribuzione associata agli stessi. In tutti i casi esaminati la distribuzione era una Poissoniana, compatibile con i modelli su descritti.

Nell'esempio di Figura 4-1 si nota come la classe di lunghezza più ricorrente è quella compresa fra 0 e 20 metri, mentre non sono presenti pochi archi di lunghezza compresa fra 90 e 100 metri.

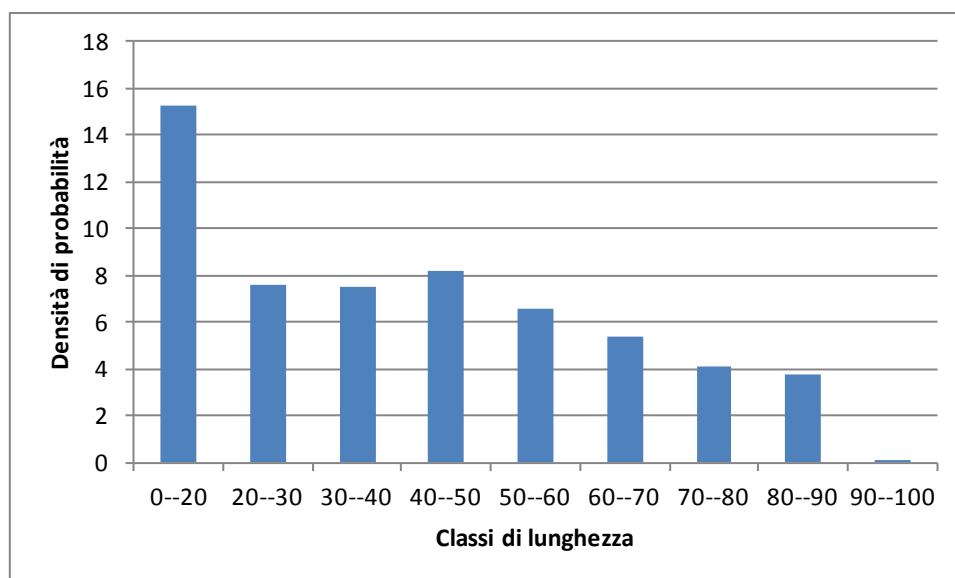


Figura 4-1 Distribuzione della densità di probabilità per classi di lunghezza

4.1.4 Utilizzo dei dati

In Tabella 4-5 sono sintetizzati i dati reperiti dalle Pubbliche Amministrazioni. Il Comune di Terni è l'Amministrazione comunale che ha fornito tutti i dati necessari alle analisi.

Per quanto riguarda la rete stradale, sono stati disaggregati gli elementi stradali in base a:

- ambito: urbano o extraurbano;
- classe funzionale, attraverso la definizione del numero di corsie;
- sistema di controllo del traffico: per le intersezioni si sono distinte le tipologie di intersezione, semaforizzata o no, composta da 3 o 4 bracci, oppure è stata identificata la rotatoria, dove presente.

Tabella 4-5 Dati reperiti dalle Pubbliche Amministrazioni

Comune/Regione	Grafo Stradale Georeferenziato	Database incidenti	Flussi di traffico	Matrice O/D
Reggio Calabria	Si	Si	Si	No
Ciampino	Si	Si	No	No
Parma	Si	Si	No	No
Salerno	Si	Si	No	No
Terni	Si	Si	Si	Si
Lazio	Si	Non georeferenziati	Si	Non necessaria

In particolare, in ambito extraurbano sono state definite le seguenti tipologie di elemento:

- TIPO 1: Autostrade a due carreggiate e tre corsie per senso di marcia;
 TIPO 2: Autostrade a due carreggiate e due corsie per senso di marcia;
 TIPO 3: Strade a più corsie per senso di marcia con separatore di carreggiata;
 TIPO 4: Strade a più corsie per senso di marcia senza separatore di carreggiata;
 TIPO 5: Strade a due corsie (una per senso di marcia)

In ambito urbano sono state definite le seguenti tipologie di elemento:

- TIPO 6: Strada a senso unico con una corsia;
 TIPO 7: Strada a senso unico con due o più corsie;
 TIPO 8: Strada a doppio senso con una corsia per senso di marcia;
 TIPO 9: Strada a doppio senso con due corsie per senso di marcia;
 TIPO 10: Intersezione a tre braccia, non semaforizzata;
 TIPO 11: Intersezione a tre braccia, semaforizzata;
 TIPO 12: Intersezione a quattro o più braccia, non semaforizzata;
 TIPO 13: Intersezione a quattro o più braccia, semaforizzata;
 TIPO 14: Rotatoria a tre braccia;
 TIPO 15: Rotatoria a quattro o più braccia.

4.2 Calibrazione e Validazione delle Funzioni

Le calibrazioni dei modelli sono state effettuate con il software R. Sono state calibrate tre tipologie di modelli: Modello di Poisson, Modello Binomiale Negativo e Modello Zero Inflated.

E' stata fatta una scelta di questo genere per valutare quale di questi modelli rappresentassero meglio la realtà in esame. Nel caso urbano del Comune di Terni, sono state fatte diverse calibrazioni considerando sia il solo anno 2006 e che il triennio 2005/2007, utilizzando diversi set di dati.

4.2.1 Funzioni in ambito urbano

In ambito urbano sono state calibrate due forme funzionali: una relativa agli archi e una relativa ai nodi della rete. Per ognuna di queste sono stati calibrati i tre modelli suddetti: Modello di Poisson, Modello Binomiale Negativo e Modello Zero Inflated.

La forma funzionale scelta ed utilizzata per gli archi è la seguente (per TGM non nullo):

$$I = e^{(\beta_0 + \beta_1 \ln TGM + \beta_2 \ln LUNGH + \beta_3 TIPO6 + \beta_4 TIPO7 + \beta_5 TIPO8 + \beta_6 TIPO9)}$$

Dove:

I = numero di incidenti

LUNGH = Lunghezza dell'arco (in chilometri)

TGM = Traffico Giornaliero Medio

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ = parametri da calibrare

La forma funzionale scelta ed utilizzata per i nodi è la seguente (per TGM non nullo):

$$I = e^{(\beta_0 + \beta_1 \ln TGM_{Max} + \beta_2 \ln TGM_{Min} + \beta_3 TIPO10 + \beta_4 TIPO11 + \beta_5 TIPO12 + \beta_6 TIPO13 + \beta_7 TIPO14 + \beta_8 TIPO15)}$$

Dove:

I = numero di incidenti

TGMMax = Massimo TGM fra tutti gli approcci all'intersezione

TGMMin = Minimo TGM fra tutti gli approcci all'intersezione

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8$ = parametri da calibrare

Come detto in precedenza le calibrazioni sono state realizzate con il software R, di seguito (Tabella 4-6) sono mostrati i risultati insieme ad alcuni test statistici che sono serviti per la determinazione del miglior modello da utilizzare. In allegato si riportano i risultati di ogni calibrazione effettuata.

Tabella 4-6 Test statistici relativi ai risultati delle calibrazioni

Anno	Modello	Elemento	EQM	E max	E medio	Scostamento
2006	Poisson	Archi	0,48	18,82	0,23	-2,86%
2006	Binomiale negativa	Archi	0,48	19,23	0,23	0,27%
2006	Zero inflated	Archi	0,41	17,88	0,17	66,00%
2005-2007	Poisson	Archi	0,46	44,88	0,21	13,06%
2005-2007	Binomiale negativa	Archi	0,46	44,13	0,21	0,69%
2005-2007	Zero inflated	Archi	0,45	40,20	0,20	49,14%
2006	Poisson	Nodi	0,90	111,32	0,82	1,12%
2006	Binomiale negativa	Nodi	0,91	113,06	0,82	1,40%
2006	Zero inflated	Nodi	1,10	196	1,21	66,00%
2005-2007	Poisson	Nodi	0,64	44,13	0,42	7,42%
2005-2007	Binomiale negativa	Nodi	0,65	45,50	0,42	7,90%
2005-2007	Zero inflated	Nodi	0,75	40,11	0,56	16,21%

La prima colonna (Anno) della tabella riporta l'anno di riferimento del set di dati considerato, la seconda colonna (Modello) riporta il Modello calibrato, la terza colonna (Elemento) riporta l'elemento considerato, la quarta colonna (EQM) riporta l'errore quadratico medio inteso come:

$$EQM = \sqrt{\sum_N \frac{(C - R)^2}{N}}$$

Dove:

C = Numero di incidenti calcolati

R = Numero di incidenti rilevati

N = Numerosità del campione

La quinta colonna (E_{max}) riporta l'errore massimo:

$$E_{max} = \max(C - R)^2$$

Dove:

C = Numero di incidenti calcolati

R = Numero di incidenti rilevati

La sesta colonna (E_{medio}) riporta l'errore medio:

$$E_{medio} = \text{media}(C - R)^2$$

Dove:

C = Numero di incidenti calcolati

R = Numero di incidenti rilevati

La settima colonna (Scostamento) riporta lo scostamento fra i valori calcolati e quelli rilevati:

$$S = \frac{(R - C)}{R}$$

Dove:

C = Numero di incidenti calcolati

R = Numero di incidenti rilevati

Dall'analisi dei risultati si è visto che per quanto riguarda gli Aichi il modello che meglio approssima la realtà è il Modello Binomiale Negativo e tale approssimazione è migliore se si considera il set di dati relativo all'anno 2006.

Per quanto riguarda i Nodi il modello che meglio approssima la realtà è anche in questo caso il Modello Binomiale Negativo e tale approssimazione è migliore, anche in questo caso, se si considera il set di dati relativo all'anno 2006.

In Tabella 4-7 si riportano i valori dei coefficienti β calibrati per questi Modelli:

Tabella 4-7 Valori dei coefficienti β calibrati per i Modelli

Coefficienti per Archi	Valore	Coefficienti per Nodi	Valore
β_0	-2,130	β_0	-1,772
β_1	0,276	β_1	0,307
β_2	0,632	β_2	0,006
β_3	-0,858	β_3	-2,535
β_4	0,326	β_4	-2,100
β_5	-0,949	β_5	-1,541
β_6	0	β_6	-0,229
		β_7	-0,900
		β_8	0

4.2.2 Funzioni in ambito extraurbano

In ambito extraurbano sono state calibrate due forme funzionali: una relativa al numero di utenti deceduti a chilometro e una relativa agli utenti feriti a chilometro. Per ognuna di queste sono stati calibrati due modelli: Modello di Poisson e Modello Binomiale Negativo. In questo caso il Modello Zero Inflated non è stato calibrato poiché il set di dati a disposizione non era sufficiente.

La forma funzionale utilizzata è la seguente (per TGM non nullo):

$$I = e^{(\beta_0 + \beta_1 \ln TGM + \beta_2 TIPO1 + \beta_3 TIPO2 + \beta_4 TIPO3 + \beta_5 TIPO4 + \beta_6 TIPO5)}$$

Dove:

I = numero di morti a chilometro e numero di feriti a chilometro

TGM = Traffico Giornaliero Medio

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6$ = parametri da calibrare

Anche nel caso dell'ambito extraurbano le calibrazioni sono state effettuate con il software R, di seguito (Tabella 4-8) sono mostrati i risultati insieme ad alcuni test statistici che sono serviti per la determinazione del miglior modello da utilizzare. In allegato si riportano i risultati di ogni singola calibrazione effettuata.

Tabella 4-8 Test statistici relativi ai risultati delle calibrazioni

Modello	Morti/Feriti	EQM	E max	E medio	Scostamento
Poisson	Morti	0,55	17,82	0,31	5,30%
Binomiale negativa	Morti	0,55	17,88	0,30	4,92%
Poisson	Feriti	2,80	231,95	7,86	3,35%
Binomiale negativa	Feriti	2,82	234,83	7,97	0,52%

La tabella è analoga alla Tabella 4-6 con l'unica differenza che nell'ambito extraurbano sono stati calibrati modelli su archi con output il numero di morti e il numero di feriti (e non numero di incidenti, come nell'ambito urbano).

Dall'analisi dei risultati si è visto che il modello che meglio approssima la realtà è il Modello Binomiale Negativo. In Tabella 4-9 si riportano i valori dei coefficienti β calibrati per questi Modelli:

Tabella 4-9 Valori dei coefficienti β calibrati per i Modelli

Coefficienti per Morti	Valore	Coefficienti per Feriti	Valore
β_0	-5,609	β_0	-2,640
β_1	0,525	β_1	0,377
β_2	-2,191	β_2	0,948
β_3	-2,351	β_3	0,387
β_4	-2,368	β_4	-0,526
β_5	-2,644	β_5	-0,794
β_6	0	β_6	0

5 Determinazione dei costi sociali

Parte integrante del lavoro è stato lo studio per la determinazione dei costi sociali utilizzati poi nella valutazione di impatto. Questa attività è stata svolta nell'ambito del lavoro di Monitoraggio e Assistenza tecnica del Piano Nazionale della Sicurezza Stradale presso il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – Direzione Generale Sicurezza Stradale.

5.1 Obiettivi e metodologia

I costi sociali degli incidenti stradali costituiscono una stima del danno economico subito dalla società e derivante dall'evento incidente stradale.

Il danno economico non è rappresentato da una spesa di retta sostenuta dalla società, ma è la quantificazione economica degli oneri che a diverso titolo gravano sulla stessa a seguito delle conseguenze causate da un incidente stradale.

I valori unitari di base per i quali è stato effettuato lo studio sono:

- Costo sociale medio di un incidente mortale;
- Costo sociale medio di un incidente grave;
- Costo totale dell'incidentalità.

Il **Costo sociale medio per incidente mortale** rappresenta il danno economico subito dalla società, e derivante dall'evento incidente stradale in cui si sia verificato uno o più decessi. Si tratta della quantificazione economica degli oneri principali che a diverso titolo gravano sulla società per un incidente mortale.

Il **Costo sociale medio per incidente grave** rappresenta invece il danno economico subito dalla società, e derivante dall'evento incidente stradale in cui si sia verificata una lesione grave. Si tratta della quantificazione economica degli oneri principali che a diverso titolo gravano sulla società per un incidente grave.

Per incidente grave si intende un incidente non mortale dove almeno uno dei coinvolti possa essere considerato un “ferito grave”, cioè una persona che abbia subito delle “lesioni gravi” dovute all'incidente.

A livello europeo, non è stata ancora adottata una definizione di ferito grave comune per tutti gli Stati membri. Ogni Stato ha adottato una propria definizione che, nella maggior parte dei casi, (Tabella 5-1) fa riferimento ai giorni di ricovero.

Una proposta di definizione comune di ferito grave è presente nel glossario delle variabili del database europeo dell'incidentalità CARE/CADAS, che cita: “[...] qualunque persona rimasta ferita in un incidente stradale, ricoverata in ospedale per almeno 24 ore [...]”.

L'Italia è, assieme alla Finlandia, uno dei paesi europei dove non vi è una distinzione tra ferito lieve e ferito grave. In base alla definizione nazionale ISTAT, gli incidenti sono classificati come mortali o con feriti.

Per questo motivo, ai fini del calcolo del costo medio di un incidente grave è necessario stimare la percentuale di incidenti che possono esser considerati “gravi”. A tale scopo, in seguito si adotterà la definizione di incidente grave prevista nel database europeo CARE/CADAS.

Tabella 5-1 Definizione di ferito grave in alcuni Stati europei (Fonte: Glossario del database CARE)

Stato membro	Definizione adottata
Francia	Ospedalizzato almeno per 6 giorni
Belgio, Germania, Spagna, Grecia, Lussemburgo, Portogallo	Ospedalizzato almeno per 24 ore
Danimarca, Olanda	Ospedalizzato come degente
Danimarca, Gran Bretagna, Irlanda	Non ospedalizzato / ospedalizzato per accertamenti come degente (in base al tipo di lesione accertata dalla Polizia)
Austria, Svezia	Nessun riferimento all'ospedalizzazione (ad es. in Austria è una lesione che comporta peggioramento delle condizioni di salute e incapacità di lavorare per più di 24h)

Sulla base delle stime di Costo sociale medio per incidente mortale e per ferito grave è possibile calcolare il **Costo totale dell'incidentalità**, ovvero il danno economico complessivo subito dalla società e derivante dall'evento incidente stradale.

Per il calcolo di detti costi, le variabili da stimare si riferiscono ai seguenti elementi:

- Costi umani:
 - Costo della vita umana (Mancata produttività, Danni non patrimoniali - danno morale e biologico);
 - Costi sanitari.
- Costi Generali:
 - Danni patrimoniali;
 - Costi amministrativi.

E' necessario fare delle assunzioni di base:

- i dati di riferimento per la stima di detti costi si riferiscono all'anno 2010;
- la fonte dati utilizzata, se non diversamente specificato, è l'ISTAT;
- la valutazione dei costi tiene conto della terminologia e delle voci di costo adottate nell'approccio utilizzato nel documento A CI-ISTAT per il calcolo dei costi sociali degli

incidenti stradali³, al fine di mantenere una coerenza nelle stime dei costi sociali effettuate nel corso degli anni.

5.2 Costo medio umano per decesso (CM)

Per stimare il costo medio umano per decesso è necessario valutare le singole voci che compongono tale costo ed in particolare: (i) Costo della vita umana (Mancata produttività, Danni non patrimoniali); (ii) Costi sanitari.

5.2.1 Costo della vita umana

5.2.1.1 Mancata Produttività (MP)

Si tratta della perdita di capacità produttiva presente e futura delle persone decedute a causa di incidente stradale.

La mancata produttività totale per gli incidenti mortali è calcolata come valore attuale delle perdite future basate sul tasso medio di sviluppo del Prodotto Interno Lordo (PIL) ricavato dalla serie storica, applicando un numero di anni pari alla differenza tra l'età di accadimento dell'incidente e la speranza di vita attiva per quella fascia di età.

Il valore attuale medio per decesso sarà calcolato come di seguito indicato:

$$Vm = \sum y_j N_j (1 + i)^{-n}$$

La formula del valore attuale viene calcolata separatamente per gli uomini e per le donne.

V_m = valore attuale delle perdite future per mancata produttività

y = Media ponderata del PIL pro capite e del PIL per occupato in base al tasso di occupazione per sesso

N = Numero di anni produttivi persi (dati dalla differenza tra età del deceduto e speranza di vita attiva) per sesso e classe di età

i = tasso medio di sviluppo del PIL

j = indice della classe d'età

La *media ponderata degli anni per sesso* è stata calcolata come media della differenza tra l'età di accadimento dell'incidente e la speranza di vita attiva pesata per il numero di morti in ciascuna classe di età⁴. Tale valore medio rappresenta il numero di periodi di riferimento per l'attualizzazione della mancata produttività.

Per il calcolo del *Reddito medio 2009*, si è tenuto conto del PIL per abitante, del PIL per occupato, nonché del tasso di occupazione maschile e femminile. Nello specifico si è ipotizzata una

³ ACI, 2009. I Costi Sociali degli Incidenti Stradali - Anno 2008

⁴ Per ogni classe di età è stato utilizzato come dato di riferimento il valore centrale.

distribuzione di occupati morti maschi/femmine pari a quella italiana e pertanto il reddito medio distinto per sesso è stato ottenuto applicando il PIL per occupato alla quota-parte di popolazione occupata/morta e il PIL per abitante alla parte restante.

Dato l'andamento del PIL degli ultimi anni e i valori stimati per gli anni passati da ISTAT, per il calcolo del *tasso medio di sviluppo del PIL* è stata considerata la serie storica decennale dei dati ovvero per ciascun anno di riferimento sono stati valutati i dieci anni precedenti. Nello specifico si è calcolato il tasso medio annuo composto del PIL a prezzi concatenati per il periodo 2000-2010.

I valori del reddito medio, numero dei periodi e tasso medio di sviluppo del PIL consentono di calcolare il *Valore attuale unitario della mancata produttività* per sesso, tale dato moltiplicato per il numero dei morti maschi/femmine fornisce il Valore attuale totale per l'anno 2010.

Detto valore ripartito per il numero dei morti totali fornisce la quota di costi relativi alla mancata produttività da inserire nel costo medio per decesso.

Tabella 5-2 Mancata Produttività– Anno 2010

Classi di età	Morti 2010 maschi	Morti 2010 femmine	Speranza di vita attiva maschi	Speranza di vita attiva femmine	Media ponderat a anni maschi	Media ponderat a anni femmine	Maschi (M)	Femmine (F)	Totale (M+F)
0-14	46	23	45	40	0,6	1,1			
15-24	538	126	45	40	7,5	6,0			
25 - 44	1.095	194	30	25	10,1	5,8			
45 - 54	432	87	15	10	2,0	1,0			
55 - 64	304	93	5	1	0,5	0,1			
65 ed oltre	768	291			0,0	0,0			
Imprecisata	66	27	22,5	20	0,5	0,6			
Totale	3.249	841			21,1	14,6			
Reddito medio 2010(€)							50.093	45.011	
TMAC PIL (%)									0,2
Valore Attuale (€)							1.023.586	618.501	
VA totale mancata produttività dei morti (milioni di €)							3.325	520	3.845
Mancata produttività media per decesso (€)									940.291

5.2.1.2 Danni non patrimoniali (Dnp)

Nella stima del costo sociale medio dell'incidente mortale, per danno non patrimoniale si intende il "danno morale" ovvero il danno derivante dalla morte di un soggetto a seguito di un'azione di terzi e quindi inteso come ingiusta offerenza per la perdita del prossimo congiunto provocata da un illecito commesso da altri.

L'ammontare del risarcimento che potrebbe quantificare tale componente di costo è sempre in ultima istanza affidato alla discrezionalità del giudice, tuttavia esistono dei valori di riferimento che possono essere utilizzati per la quantificazione di tale voce di costo. Per stimare tale valore si è proceduto a:

- considerare i dati disponibili relativi ai coefficienti utilizzati per la valorizzazione del danno morale del 2008⁵, dati dal rapporto tra valore monetario del danno morale 2008 per classe di età ed il relativo numero dei morti;
- calcolare i coefficienti 2010 rivalutandoli sulla base del tasso di inflazione 2010/2008⁶;
- applicare i coefficienti aggiornati alla diversa distribuzione dei morti per classe di età del 2010.

Il valore del danno morale complessivo è stato rapportato al numero totale di morti allo scopo di ottenere il valore della componente *danno non patrimoniale* al costo medio per decesso.

Tabella 5-3 Danno morale – Anno 2010

Classi di età	0-14	15-24	25 - 34	35-44	45 - 54	55 - 64	65 +	Imprecisata	Totale
Morti 2010	69	664	683	606	519	397	1.059	93	4.090
Coefficienti 2010	0,71	0,67	0,63	0,59	0,56	0,52	0,44	0,59	0,55
Danno morale 2010 (milioni di €)	49,17	448,87	431,44	360,48	289,64	205,94	462,16	54,78	2.297
Danno morale per decesso (€)									561.734

5.2.2 Costi Sanitari (CS)

Nei costi sanitari sono comprese: (i) le spese sostenute in regime di ricovero; (ii) i costi del pronto soccorso; (iii) i costi di autoambulanza.

I decessi conteggiati a seguito di incidente stradale, per convenzione si riferiscono ai morti avvenuti entro il trentesimo giorno a partire da quello in cui si è verificato l'incidente. Pertanto una parte della popolazione riceve comunque un'assistenza medica prima del decesso.

Sulla base dei costi sanitari stimati da ISTAT per le diverse annualità disponibili e considerando la distribuzione di morti e feriti, è stato possibile analizzare il trend e stimare il costo sanitario totale relativo a morti e feriti per l'anno 2010 pari a **603 milioni di euro** (nel 2009 tale costo era pari a 612 milioni di euro, mentre nel 2008 621 milioni di euro pari a circa il 4% dei costi sociali totali). Il rapporto di tale valore con il numero totale di morti e feriti ci consente di stimare il costo sanitario medio per morto/ferito, pari a **€ 1.965**, che risulta sostanzialmente inalterato rispetto all'anno precedente.

Tabella 5-4 Costi sanitari – Anno 2009/2010

	2009	2010
Costi sanitari ed assimilabili totali (milioni di €) - CS	612	603
Numero di morti + Numero di feriti – M+F	311.495	306.825
Costo medio sanitario per ferito/morto (€) - CS / (M+F)	1.966	1.965

⁵ ACI, 2009. I Costi Sociali degli Incidenti Stradali - Anno 2008

⁶ Tasso di inflazione (IPCA – Indice armonizzato dei prezzi al consumo per i paesi dell'Unione Europea).

5.2.3 Riepilogo Costo medio umano per decesso

Di seguito si presenta la stima del Costo medio umano per decesso, calcolata come somma del Costo della vita umana dato dalla mancata produttività media e dal danno non patrimoniale medio e dei costi medi sanitari:

$$CM = CVu + CS$$

Tabella 5-5 Costo medio umano per decesso – Anno 2010

Valori in euro	
Costo della vita umana	1.502.025
• Mancata produttività media	940.291
• Danni non patrimoniali medi	561.734
Costi sanitari medi	1.965
Costi medio umano per decesso (CM)	1.503.990

5.3 Costo medio di un ferito (CF)

5.3.1 Ripartizione percentuale di feriti gravi e lievi

In Italia il dato sul numero di feriti gravi coinvolti in incidenti stradali non è noto, è disponibile solo il numero di feriti da incidenti stradali senza distinzione tra ferito grave e ferito lieve. Per il calcolo della ripartizione percentuale del numero di feriti tra feriti gravi e feriti lievi, è necessario ricorrere a delle stime basate su dati disponibili.

Una stima di tale ripartizione è fornita dal progetto europeo UNITE⁷, che per l'Italia riporta che il 20% delle persone coinvolte in un incidente stradale riporta ferite gravi, mentre l'80% riporta ferite lievi. Tale valore è riferito però a un valore medio stimato per l'anno 1998, che nel tempo può essere cambiato poiché di pendente da diversi fattori, dall'effettiva minor e gravità di incidenti e conseguenti traumi riportati (correlata ad esempio all'introduzione delle leggi sull'uso del casco e sulla patente a punti) ad indirizzi di politica sanitari volti a razionalizzare il ricorso alla struttura ospedaliera.

Al fine di verificare ed eventualmente aggiornare tale stima, sono stati esaminati i dati sui ricoveri per incidente stradale disponibili. Il ricovero, infatti, implica degenza maggiore di 24 ore e presso la struttura ospedaliera e dunque il ricoverato in questione può essere considerato un ferito grave, in base alla definizione di ferito grave assunta per questo studio, conforme a quanto indicato nel glossario del database europeo degli incidenti stradali CARE. Il dato sul numero di ricoveri a causa di incidente stradale non è però disponibile per tutto il territorio nazionale. In base alla disponibilità sono stati quindi esaminati i dati delle Regioni Piemonte ed Emilia Romagna, sul cui territorio nel 2010 si è osservato circa il 16% del totale degli incidenti stradali con danni alle persone.

Basandosi sulla variabile presente nelle Schede di Dimissione Ospedaliera indicante la tipologia di incidente che ha causato il trauma è possibile ottenere il dato sui ricoveri da incidente stradale.

Per la Regione Piemonte si riportano in tabella i valori relativi a: numero di ricoveri per incidente stradale nel periodo 2006-2009, numero di feriti per incidente stradale (fonte ISTAT) e rapporto tra ricoveri e feriti che fornisce una stima della percentuale di feriti gravi (v. Tabella 5-6).

⁷ Deliverable 12, Annex5: "The Pilot Accounts for Italy" del progetto UNITE – Competitive And Sustainable Growth Programme – Vers.2.1 redatto a giugno 2003

Il valore medio percentuale di feriti gravi rispetto al numero totale di feriti per la Regione Piemonte, nel triennio 2007-2009, ammonta a circa 14,5%.

Tabella 5-6 Numero di ricoveri, feriti e conseguente percentuale di feriti gravi per incidente stradale nella Regione Piemonte durante il periodo 2006-2009

Tipo	2006	2007	2008	2009
Ricoverati *	3.382	3.112	2.869	2.777
Feriti **	22.047	21.363	19.229	19.985
% Feriti gravi	15,3%	14,6%	14,9%	13,9%

*Fonte: Servizio Sanitario Regionale della Regione Piemonte

**Fonte: ISTAT

Nel periodo 2000 -2006 in Emilia Romagna si sono registrati 38.385 ricoverati per incidente stradale, pari ad una media annuale di 5.483 ricoveri in Regione.

L'analisi dei dati relativi ai singoli anni mostra una diminuzione costante dei ricoveri da incidente stradale in Emilia Romagna (v. Tabella 5-7). Anche in questo caso, confrontando il numero di ricoveri con il numero globale di feriti registrati negli ultimi anni per la Regione (fonte ISTAT), si ottiene la percentuale di feriti gravi rispetto al numero totale di feriti.

Il valore medio percentuale di feriti gravi rispetto al numero totale di feriti per la Regione Emilia Romagna, nel triennio 2007-2009, ammonta a 14,6%, valore molto simile a quello riscontrato per la Regione Piemonte.

Tabella 5-7 Numero di ricoveri, feriti e conseguente percentuale di feriti gravi per incidente stradale nella Regione Emilia Romagna durante il periodo 2000-2009

Tipo	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Ricoverati**	7.304	6.442	6.064	5.386	4.828	4.351	4.010	3.649*	3.321*	3.022*
Feriti***	29.326	29.645	29.317	28.505	28.416	25.831	25.411	24.353	22.887	21.237
% Feriti gravi	24,9%	21,7%	20,7%	18,9%	17,0%	16,8%	15,8%	15,0%	14,5%	14,2%

*Dati stimati (la stima è stata fatta basandosi sulla variazione percentuale media della serie storica disponibile.)

**Fonte: Servizio Sanitario Regionale, Incidenti Stradali in Emilia Romagna –Anni 1995-2007 (i dati non includono le province di Modena e Parma poiché non attendibili in base a quanto riportato nel rapporto citato)

***Fonte: Istat (i dati non includono le province di Modena e Parma)

Dall'analisi congiunta dei dati disponibili sono state ricavate le ripartizioni percentuali tra feriti gravi e lievi che si è ritenuto opportuno adottare per l'Italia.

Considerato il valore medio dei dati relativi alle Regioni Piemonte ed Emilia Romagna nel triennio 2007-2009 e il trend osservato della percentuale di feriti gravi, è ragionevole assumere per l'Italia una percentuale di feriti gravi pari a circa il 14%.

Di conseguenza la stima aggiornata delle ripartizioni percentuali di feriti gravi e lievi è dunque così composta: feriti gravi pari al 14% del totale, e di conseguenza feriti lievi pari all'86% del totale.

5.3.2 Numero di feriti gravi (nfg) e feriti lievi (nfl) per incidente grave

Per il calcolo del *costo medio per incidente grave* è necessario moltiplicare il costo medio per ferito grave ed il costo medio per ferito lieve rispettivamente per il numero di feriti gravi/incidente grave ed il numero di feriti lievi/incidente grave e sommare a questi il costo unitario per danni materiali. Non si hanno però a disposizione per l'Italia i dati relativi al numero di feriti gravi/incidente grave e

numero di feriti lievi/incidente grave, motivo per cui si è fatto ricorso ad opportune stime basate sull'analisi di dati statistici e su sviluppi conseguenti ad alcune ipotesi di base.

Di seguito si riporta il procedimento seguito per ricavare il numero medio di feriti gravi per incidente grave e il numero medio di feriti lievi per incidente grave. Noti dal rapporto ISTAT "Incidenti Stradali – Anno 2010" il numero di incidenti, incidenti mortali e feriti in Italia, si deducono i seguenti dati.

Tra gli incidenti con feriti, si assume una ripartizione percentuale tra incidenti con feriti gravi ed incidenti con feriti lievi eguale alla ripartizione percentuale precedentemente descritta tra numero di feriti gravi e numero di feriti lievi.

Tabella 5-8 Ripartizione del numero di incidenti per gravità - Anno 2010

Incidenti	Numero
Incidenti mortali (IM)	3.847
Incidenti con feriti (IF)	207.557
- di cui con feriti gravi (IFG)	29.058 (14%)
- di cui con feriti lievi (IFL)	178.499 (86%)
Totale incidenti	211.404

Si assume a tal punto di ripartire:

- il numero di feriti gravi, ammontante al 14% del totale dei feriti, tra incidenti mortali e di incidenti con feriti gravi secondo le seguenti quote percentuali proporzionali rispettivamente al numero di incidenti mortali e di incidenti gravi:
 - $IM/(IM+IFG) = 11,7\%$
 - $IFG/(IM+IFG) = 88,3\%$
- il numero di feriti lievi, ammontante all'86% del totale dei feriti, tra incidenti mortali, incidenti con feriti gravi ed incidenti con feriti lievi secondo le seguenti quote percentuali proporzionali rispettivamente al numero di incidenti mortali, di incidenti gravi e di incidenti lievi:
 - $IM/(IM+IFG+IFL) = 1,9\%$
 - $IFG/(IM+IFG+IFL) = 13,7\%$
 - $IFL/(IM+IFG+IFL) = 84,4\%$

Si ottengono così i valori seguenti:

- $FG(IM) =$ numero di feriti gravi negli incidenti stradali mortali = 4.959;
- $FG(IFG) =$ numero di feriti gravi negli incidenti stradali con feriti gravi = 37.424;
- $FL(IM) =$ numero di feriti lievi negli incidenti stradali mortali = 4.947;
- $FL(IFG) =$ numero di feriti lievi negli incidenti stradali con feriti gravi = 35.668;

- $FL(IFL) = \text{numero di feriti lievi negli incidenti stradali con feriti lievi} = 219.737$.

Da ciò si deduce il numero medio di feriti gravi e lievi rispetto al numero di incidenti con feriti gravi, ammontanti rispettivamente a:

- Numero medio di feriti gravi negli incidenti stradali con feriti gravi = $FG(IFG)/IFG=1,29$;
- Numero medio di feriti lievi negli incidenti stradali con feriti gravi = $FL(IFG)/IFG=1,23$.

5.3.3 Costo medio di un ferito (CF)

Come per il costo medio di un decesso, il costo medio di un ferito sia lieve che grave è costituito dalla somma del costo della vita umana e del costo medio sanitario. Ove il costo della vita umana è dato da:

- mancata produttività;
- danni non patrimoniali.

Nel caso di ferimento, il costo medio di un ferito è dato pertanto dalla somma della perdita di produzione individuale causata dall'incidente, dal danno biologico⁸, nonché dalla quantificazione dei costi sanitari.

La ricerca in ambito europeo suggerisce di stimare il valore della vita umana nel caso di incidenti con feriti come una frazione di quello associato ad eventi con decessi. In particolare, gli studi del ECMT (*European Conference of Ministers of Transport*) del 1998 raccomandano di calcolare il valore del rischio associato ai ferimenti gravi e lievi, rispettivamente nel 13% e nell'1% di quello associato ai decessi. Tale approccio è condiviso da diversi progetti/studi nel settore dei trasporti, tra i più rilevanti dei quali si possono citare UNITE (2001), HEATCO (2006), IMPACT (2008). Nel presente lavoro si è ritenuto coerente applicare la metodologia alla stima della complessiva voce di "Costo della vita umana".

Considerato che per il decesso è stato calcolato un costo medio della vita umana pari a € 1.502.025 (come somma di € 940.291 per mancata produttività e di € 561.734 per danno morale), per un ferito grave si ottiene un valore di **€195.263** (13% del costo medio umano per decesso) e per un ferito lieve un valore di **€15.020** (1% del costo medio umano per decesso).

Il costo medio sanitario, come visto nel § 0, è stimato pari a **€1.965**.

- Il costo medio per un ferito grave (**Cfg**) è dunque pari a € 197.228 come risultato della somma di € 195.263 (costo della vita umana) e di 1.965 (costo medio sanitario).
- Il costo medio per un ferito lieve (**Cfl**) è invece pari a € 16.985 come risultato della somma di € 15.020 (costo della vita umana) e di 1.965 (costo medio sanitario).

Come riportato nel § 3.1 la ripartizione media tra feriti gravi e lievi risulta essere:

- 86% feriti lievi;

⁸ Danno prodotto alla persona da una lesione fisica o psichica.

- 14% feriti gravi.

Sulla base di questi pesi è possibile calcolare il costo medio (ponderato) di un ferito (**CF**), dato dall'espressione seguente:

$$CF = Cfg * 0,14 + Cfi * 0,86 \quad (1)$$

Sostituendo nella (1) i valori precedentemente presentati, si ottiene un valore di **€42.219**.

5.4 Costi generali medi per incidente (CG)

La stima dei costi generali comprende la valutazione di : (i) Danni patrimoniali; (ii) Costi Amministrativi (spese per assicurazione RC Auto e spese di rilievo degli incidenti stradali e spese giudiziarie). Tali valori sono comuni e si riferiscono al numero totale di incidenti stradali, per cui prescindono dalla distinzione tra incidente mortale e incidente con feriti.

$$CG = Dp + CA$$

5.4.1 Danni patrimoniali (Dp)

I danni patrimoniali comprendono tutti i danni subiti dalle cose di proprietà del danneggiato a seguito dell'incidente. Per la stima di tali costi si fa riferimento ai dati ANIA.

Il rapporto annuale ANIA “L’assicurazione italiana 2010/2011” riporta il valore del costo medio dei sinistri pari a € 4.117, ogni incidente può avere più sinistri ovvero più veicoli coinvolti pertanto per ottenere il danno patrimoniale per incidente il costo medio precedente va moltiplicato per il numero medio di veicoli coinvolti in ciascun incidente.

Tabella 5-9 Danno patrimoniale – Anno 2010

Valori in euro	
Costo medio per sinistro (€)	4.117
Numero di veicoli coinvolti per incidente	1,867
Danno patrimoniale medio per incidente (€)	7.686

5.4.2 Costi amministrativi (CA)

I Costi amministrativi si compongono delle seguenti voci:

- spese per assicurazione RC Auto;
- spese per rilievo degli incidenti stradali;
- spese giudiziarie.

Le **spese per assicurazione RC Auto** si riferiscono ai costi sostenuti per la gestione delle pratiche RC Auto e vengono stimate sulla base dei dati ANIA⁹. Nello specifico per il 2010 sono stati

⁹ L’assicurazione italiana 2010-2011 – Rapporto ANIA

complessivamente sostenute spese di gestione pari a **3.132**¹⁰ milioni di euro comprendenti le spese di amministrazione attinenti alla gestione tecnica e gli oneri per l'acquisizione dei contratti, per la riscossione dei premi e per l'organizzazione e il funzionamento della rete distributiva. Tale dato rapportato al numero di sinistri¹¹ gestiti (3,4 milioni) fornisce il valore medio delle spese di gestione sostenute nell'anno di riferimento; quest'ultimo valore applicato al numero medio di veicoli coinvolti in ciascun incidente fornisce una stima dei costi di gestione RC auto per incidente (**€1.727**).

Le **spese per il rilievo degli incidenti stradali** si riferiscono ai costi di intervento delle autorità pubbliche (Polizia stradale, Polizia municipale, Carabinieri e Vigili del Fuoco) in caso di rilievo di incidenti stradali. In particolare, tali costi riguardano il tempo complessivo impiegato dal personale degli organi per il rilievo degli incidenti e i costi associati all'intervento (ad es. carburante necessario per raggiungere il luogo del sinistro).

I **costi giudiziari** si riferiscono alle spese sostenute dall'amministrazione giudiziaria per il contenzioso per responsabilità civile automobilistica.

La quantificazione di queste ultime due voci di costo in Italia, così come in altri paesi, è difficilmente reperibile e si basa usualmente su delle stime.

Dato lo scarso peso che i costi amministrativi hanno sui costi totali dell'incidentalità, per la loro stima, è frequente l'utilizzo di percentuali sui costi totali o sul costo totale medio dell'incidente distinte per gravità dell'incidente. Ad esempio, alcuni studi¹² indicano valori compresi tra l'1% e il 5% dei costi totali o lo 0,2% del costo di un incidente mortale.

Applicando tale percentuale al costo sociale medio per incidente mortale riportato nel successivo capitolo, si ricava un totale di circa 3.300 € per incidente di costi amministrativi. Le spese per il rilievo di un incidente e le spese giudiziarie possono quindi essere dedotte sottraendo da tale valore le spese per assicurazione RC Auto per incidente. Si deducono così i costi riportati in Tabella 5-10

Tabella 5-10 Costi amministrativi medi per incidente – Anno 2010

	Valori (€)
Spese per assicurazione RC Auto per incidente	1.727
Spese per rilievi incidenti e costi giudiziari	1.573
Costi Amministrativi medi per incidente	3.300

5.4.3 Riepilogo Costi Generali medi per incidente

$$CG = Dp + CA$$

¹⁰ Valore riferito ad RC AUTO ed RC MARITTIMI

¹¹ Per sinistro si intende il verificarsi del rischio per il quale è presente la garanzia assicurativa e pertanto fa riferimento al singolo veicolo assicurato

¹² TRL, 2003. Guidelines for Estimating the Cost of Road Crashes in Developing Countries.

Asian Development Bank, 1998. Road Safety Guidelines for the Asian and Pacific Region.

Costi generali medi per incidente

Tabella 5-11 Costi Generali per incidente – Anno 2010

	Valori (€)
Danni patrimoniali medi per incidente	7.686
Costi amministrativi medi per incidente	3.300
Costi Generali medi per incidente	10.986

5.5 Costo sociale medio per incidente mortale

Il costo sociale medio per incidente mortale è calcolato come somma delle singole componenti che direttamente o indirettamente derivano dall'incidente mortale, nello specifico:

$$CMim = NM \cdot CM + NFim \cdot CF + CG$$

CMim = Costo sociale medio per incidente mortale

NM= Numero medio di morti per incidente mortale

CM= costo medio per decesso

NFim= Numero medio di feriti per incidente mortale

CF= costo medio per ferito

CG= costi generali medi per incidente (patrimoniali, amministrativi)

Tabella 5-12 Costo sociale medio per incidente mortale- Anno 2010

	Numero	Euro
Numero medio di morti per incidente mortale (NM)	1,06	
Costo medio per decesso - CM (€)	1.503.990	
Costo medio per incidente - NM x CM (€)		1.598.991
Numero medio di feriti in incidenti mortali (NFim)	0,72	
Costo medio dei feriti – CF (€)	42.219	
Costo medio dei feriti per incidente - NFim x CF (€)		30.398
Costi Generali medi per incidente - CG (€)		10.986
COSTO SOCIALE MEDIO PER INCIDENTE MORTALE (€)		1.640.375

5.6 Costo sociale medio per incidente grave (CMig)

L'incidente grave costituisce un'esternalità negativa alla quale è associato sia l'evento di ferimento grave che quello di ferimento lieve.

Il costo medio dell'incidente grave (CMig) può dunque essere sintetizzato dalla seguente espressione:

$$CMig = Cfg * nfg + Cfl * nfl + CG \quad (2)$$

dove:

Cfg = Costo medio per un ferito grave

nfg = numero medio di feriti gravi nell'incidente

Cfl = Costo medio per un ferito lieve

nfl = numero medio di feriti lievi nell'incidente

CG= costi generali medi per incidente (patrimoniali, amministrativi)

Sostituendo i valori stimati in precedenza nella (2) si ottiene:

$$\text{CMig} = \text{€}197.228 * 1,29 + \text{€}16.985 * 1,23 + \text{€}10.986$$

per un valore finale di € **285.847**.

La tabella che segue fornisce una sintesi di tutte le voci di costo considerate:

Tabella 5-13 Costo sociale medio per incidente grave- Anno 2010

	Numero	Euro
Numero medio di feriti gravi – nfg	1,29	
Costo medio per ferito grave - Cfg (€)	197.228	
Costo medio ferito grave per incidente - nfg * Cfg (€)		254.012
Numero medio di feriti lievi - nfl	1,23	
Costo medio per un ferito lieve – Cfl (€)	16.985	
Costo medio ferito lieve per incidente - nfl * Cfl (€)		20.849
Costi Generali medi per incidente - CG (€)		10.986
COSTO SOCIALE MEDIO PER INCIDENTE GRAVE (€)		285.847

6 Sviluppo del Modulo RIA

Parte importante della ricerca di Dottorato è stata l'implementazione della metodologia descritta precedentemente (RIA) all'interno del DSS ISIDE.

ISIDE è stato realizzato in ambiente Visual Studio 2010 utilizzando il linguaggio di programmazione Visual Basic.Net e VisualC#. La banca dati è stata implementata utilizzando SQL Server 2008.

Come visto precedentemente (paragrafo 2.2) il DSS ISIDE migliora le capacità dei progettisti durante l'identificazione delle possibili cause d'incidentalità e durante la scelta degli interventi più efficaci per uno specifico sito. Il Modulo RIA si inserisce all'interno del DSS nella sezione dedicata alla Progettazione della Sicurezza. Sulla base di input quali il grafo e i flussi veicolari riferiti sia alla situazione attuale che a i vari scenari di progetto, insieme alle funzioni di previsione dell'incidentalità (SPF) calibrate, è possibile effettuare una valutazione degli scenari simulati, sia in termini di incidentalità che in termini di costi sociali associati all'incidentalità. (Figura 6-1)

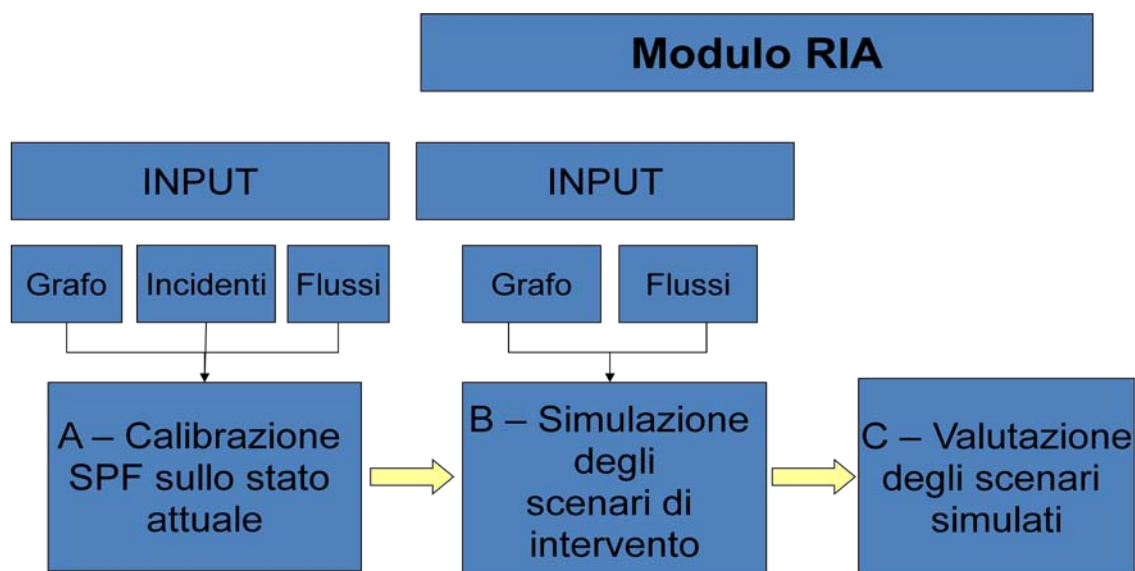


Figura 6-1 Modulo RIA di ISIDE

I comandi del DSS prevedono un menù a tendina con all'interno diverse finestre: Home, FAQ, Contatti, Link, Report disponibili, Analisi dei dati, Progettazione della sicurezza, Acquisizione e gestione dati e Configurazione.

All'interno della finestra "Acquisizione e gestione dei dati" è possibile effettuare operazioni per quello che riguarda i dati di incidentalità, ossia: visualizzare i dati acquisiti e presenti sul database, gestire dei processi di acquisizione dati da un server remoto oppure caricare i dati degli incidenti da file XML (Figura 6-2)



ISIDE - DSS Per la Sicurezza Stradale
Version 2.2

Comune di Terni

Utente autorizzato! [Logout](#)
Menu ... **Acquisizione e gestione dati incidenti**

Guida
Configurazione dei processi e delle connessioni.

Fare clic sul link che interessa per aprire il pannello di controllo.

Comandi
▼ Menu
▶ Home
▶ F.A.Q.
▶ Contatti
▶ Link
▶ Report disponibili
▶ Analisi dei dati
▶ Progettazione della sicurezza
▶ **Acquisizione e gestione dati incidenti**
▶ Configurazione

Acquisizione e gestione dati incidenti: funzioni disponibili

Gestione dati	Visualizza elenco dei dati acquisiti e presenti nel database.
Processi	Gestione dei processi di acquisizione dati da un server remoto.
Upload XML file	Consenti all'utente di caricare i dati degli incidenti da file XML

Figura 6-2 Schermata “Acquisizione e gestione dati incidenti”

In ISIDE è possibile acquisire e gestire gli scenari di intervento. In particolare le operazioni possibili sono: gestire e caricare lo scenario di offerta, gestire e caricare lo scenario di domanda, gestire i parametri dei modelli di previsione (nel caso in cui fossero disponibili altri parametri di SPF non inclusi all'interno del DSS, e gestire l'associazione dei modelli e degli scenari di domanda e di offerta (Figura 6-3)



ISIDE - DSS Per la Sicurezza Stradale
 Version 2.2

Comune di Terni

Utente autorizzato! [Logout](#)
 Menu ... [Acquisizione e gestione dati](#) ... [Scenari di progetto](#)

Guida
 Configurazione dei processi e delle connessioni.

 Fare clic sul link che interessa per aprire il pannello di controllo.

Comandi


- Menu
 - Home
 - F.A.Q.
 - Contatti
 - Link
 - Report disponibili
 - Analisi dei dati
 - Progettazione della sicurezza
 - Acquisizione e gestione dati
 - Dati incidenti
 - Scenari di progetto**
 - Configurazione

Acquisizione e gestione dati scenario di progetto: funzioni disponibili

Scenario di offerta	Gestisci/Carica scenario di offerta.
Scenario di domanda	Gestisci/Carica scenario di domanda.
Parametri dei modelli	Gestione dei parametri dei modelli di previsione
Scenari di simulazione	Gestisci l'associazione di modelli, scenari di domanda e offerta.

Figura 6-3 Schermata “Acquisizione e gestione dati scenario di progetto”

All'interno dei comandi relativi alla “Progettazione della sicurezza” sono presenti più funzioni: la scelta degli interventi, che consente di creare o modificare il progetto di analisi, inteso come la valutazione fra due o più scenari possibili, il Road Safety Impact Assessment, ossia la valutazione della sicurezza, il Road Safety Audit/Inspection e la Gestione dei filtri.



ISIDE - DSS Per la Sicurezza Stradale
 Version 2.2

Comune di Terni

Utente autorizzato! [Logout](#)
Menu ... **Progettazione della sicurezza**

Help
 Strumenti per project management.

 Consente all'utente di creare e modificare il progetto di analisi.

Comandi

- ▼ Menu
 - Home
 - F.A.Q.
 - Contatti
 - Link
 - Report disponibili
 - Analisi dei dati
 - **Progettazione della sicurezza**
 - Scelta degli interventi
 - Road Safety Impact Assessment
 - Road Safety Audit/Inspection
 - Gestione dei filtri
 - Acquisizione e gestione dati

Dettagli

Scelta degli interventi	Consente all'utente di creare e modificare il progetto di analisi.
Road Safety Impact Assessment	Road Safety Impact Assessment
Road Safety Audit/Inspection	Road Safety Audit & Inspection projects
Gestione dei filtri	Strumenti per project management.

Figura 6-4 Schermata “Progettazione della sicurezza”

Un volta caricati gli scenari sia in termini di infrastruttura (grafo) che in termini di flussi veicolari, il Road Safety Impact Assessment permette di visualizzare la previsione dell'incidentalità, ai nodi, come sugli archi, stimata attraverso le SPF calibrate sullo stato attuale (Capitolo 4) e incluse nel sistema (Figura 6-5 e Figura 6-6). Gli elementi sono visibili su mappa cliccando sull'apposito link.













<div>  <div> ISIDE - DSS Per la Sicurezza Stradale Version 2.2 </div> </div>					
Comune di Terni					
Scenario di progetto #1			Elaborazione previsione incidentalità ai nodi		
	idNodo	Nodo_TipoSPF	Nodo_TGMMin	Nodo_TGMMax	StimaIncidenti
	1726	10	22016,76	54462,4	0,26
	1301	15	21032,07	21032,07	3,78
	1753	10	20418,92	56033,76	0,26
	1197	10	18721,76	38178,66	0,25
	1302	10	18221,21	39236,18	0,25
	2286	13	17678,64	37093,44	3,56
	1288	10	17254,36	40503,83	0,25
	621	10	16946,62	22249,87	0,23
	942	10	16946,62	25868,86	0,23
	1428	10	15563,85	32445,69	0,24
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...					
<div> Elabora Esporta Esci </div>					

Figura 6-5 Schermata di output “Elaborazione previsione incidentalità ai nodi”

Nella Figura 6-5 è possibile vedere l’id del Nodo preso in considerazione, la tipologia di nodo (es. Nodo_TipoSPF10 = intersezione a tre braccia non semaforizzata, ecc), il TGM Min a quell’intersezione e il TGM Max, infine, nell’ultima colonna è presente la stima degli incidenti per anno a quel dato nodo.













 Comune di Terni		ISIDE - DSS Per la Sicurezza Stradale Version 2.2				
Scenario di progetto #1			Elaborazione previsione incidentalità ai tronchi			
	idTronco	Tronco Lenght	Tronco TipoSPF	Tronco TGM	StimaIncidenti	IncidentiKM
	1712	0,58	8	32435,82	0,68	1,17
	1736	0,31	8	32435,82	0,45	1,45
	1762	0,29	8	32326,2	0,43	1,48
	1490	0,01	9	32027,93	0,13	13,00
	Visualizza elemento su mappa		8	31222,18	0,22	2,00
	3632	0,35	8	31222,18	0,48	1,37
	1340	0,55	8	30923,8	0,65	1,18
	3059	0,29	8	30923,8	0,42	1,45
	1489	0,11	8	29185,28	0,22	2,00
	1052	0,05	7	28940,71	0,46	9,20
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...						
Elabora Esporta Esci						

Figura 6-6 Schermata di output “Elaborazione previsione incidentalità ai tronchi”

Analogamente ai nodi, in Figura 6-6 è possibile vedere la descrizione del database di output. I dati in evidenza sono l’Id del tronco, la sua lunghezza, la tipologia (es. Tronco_TipoSPF 8= strada a doppio senso con una corsia per senso di marcia), il TGM per quel tronco, la stima del numero di incidenti su quel tronco e la stima del numero di incidenti al chilometro.

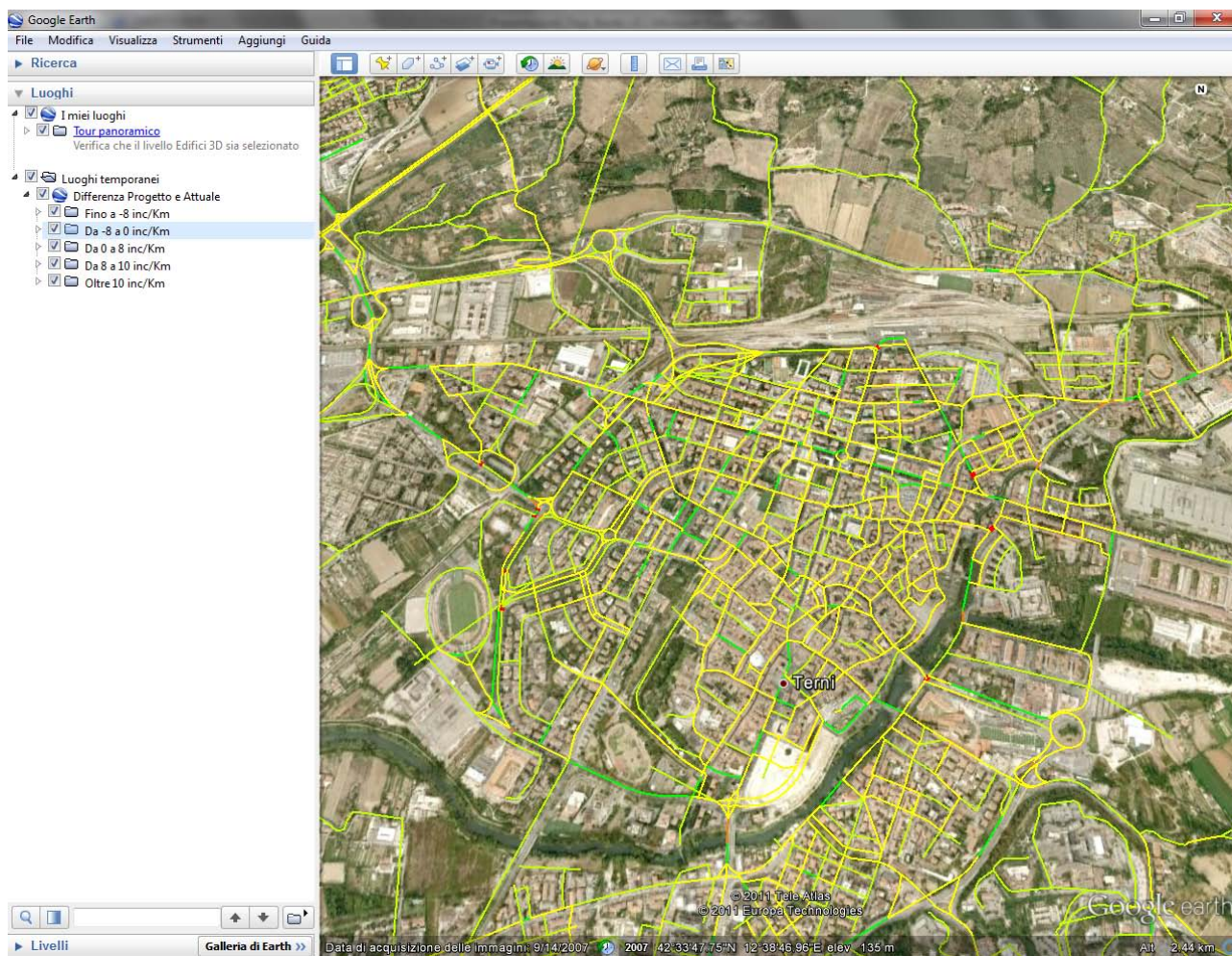


Figura 6-7 Visualizzazione su mappa della differenza di incidentalità fra Stato di Progetto e Stato Attuale

7 Applicazione del Modulo RIA

La ricerca di Dottorato ha previsto l'applicazione del Modulo RIA di ISIDE agli ambiti extraurbano ed urbano.

Si è deciso di realizzare due applicazioni differenti per mostrare come fosse possibile, attraverso il Modulo RIA, valutare gli impatti sulla sicurezza stradale sia in termini di costi sociali (ambito extraurbano) sia in termini di riduzione/aumento dell'incidentalità (ambito urbano).

7.1 Applicazione in ambito extraurbano - il caso della Regione Lazio

L'applicazione del Modulo RIA alla rete extraurbana si è potuta realizzare grazie allo studio effettuato nell'ambito del Piano Regionale dei Trasporti, Merci e Logistica (PRTML).

I dati a disposizione erano:

- il grafo stradale georeferenziato dello stato attuale: è stato necessario determinare le caratteristiche dell'infrastruttura in termini di categoria di strada;
- il grafo stradale georeferenziato degli scenari di progetto;
- i dati relativi ai flussi di traffico: simulati sia per lo scenario attuale che per i diversi stati di progetto;
- i dati relativi all'incidentalità: i dati erano relativi agli incidenti avvenuti nel biennio 2006/2007 e non erano georeferenziati su mappa, è stato quindi necessario effettuare delle elaborazioni che consentissero di associare ad ogni elemento stradale il numero di incidenti al chilometro.

Il PRTML prevedeva diversi scenari di progetto (due di medio periodo e due di lungo periodo), per i quali erano stati simulati i flussi di traffico, e comprendevano (Tabella 7-1):

- Scenario Do Nothing 2015: nessun intervento infrastrutturale attualmente in costruzione completato (scenario di offerta non modificato) e flussi di traffico al 2015;
- Scenario Do Minimum 2015: completamento degli interventi infrastrutturali attualmente in costruzione e flussi di traffico al 2015;
- Scenario Do Minimum 2025: completamento degli interventi infrastrutturali attualmente in costruzione e flussi di traffico al 2025;
- Scenario Do Everything 2025: completamento di tutti gli interventi infrastrutturali previsti e flussi di traffico al 2025.

Tabella 7-1 Scenari di progetto

Orizzonte	Anno	Domanda	Offerta	Acronimo
Medio periodo	2015	Proiettata a 2015	1 Rete “do nothing” (=attuale)	DN 2015
Medio periodo	2015	Proiettata a 2015	1 Rete “do Minimum”	DM 2015
Lungo periodo	2025	Proiettata a 2025	1 Rete “do Minimum”	DM 2025
Lungo periodo	2025	Proiettata a 2025	1 Rete “do everything”	DE 2025

Gli interventi previsti nella rete “do Minimum” erano: Dorsale Appenninica Sora - Avezzano – Terni – Rieti nel tratto Terni – Rieti, Sora – Frosinone – Ferentino, SS156 Monti Lepini.

Gli interventi previsti nella rete “do Everything” comprendevano: A12 Cecina - Civitavecchia, Bretella di collegamento meridionale A1 – A14 (S. Vittore – Termoli), Bretella Cisterna – Valmontone, Corridoio multimodale Roma – Latina, Casello Fiumicino Aeroporto, Casello Guidonia, Casello Valle del Tevere, Nuovo collegamento Bolsena – nuovo casello A1, Nuovo collegamento Viterbo Valle del Tevere, Complanari A24 (Casal Bertone – Barriera Roma Est), Dorsale Atina – Colli di Volturno – Isernia, Sora – Ceprano – Fondi – Gaeta, SS2 Cassia, SS4 Salaria tratto Passo Coree – Rieti, SS630 Ausente (Cassino – Formia), SS71 Umbro – Casentinese, Trasversale Nord (Civitavecchia – Viterbo – Terni) tratto Civitavecchia – Viterbo, Variante SS7 Appia nel Comune di Formia, Variante SS7 Appia nei comuni di Ciampino e Marino.

La Figura 7-1 mostra graficamente gli scenari di offerta previsti:

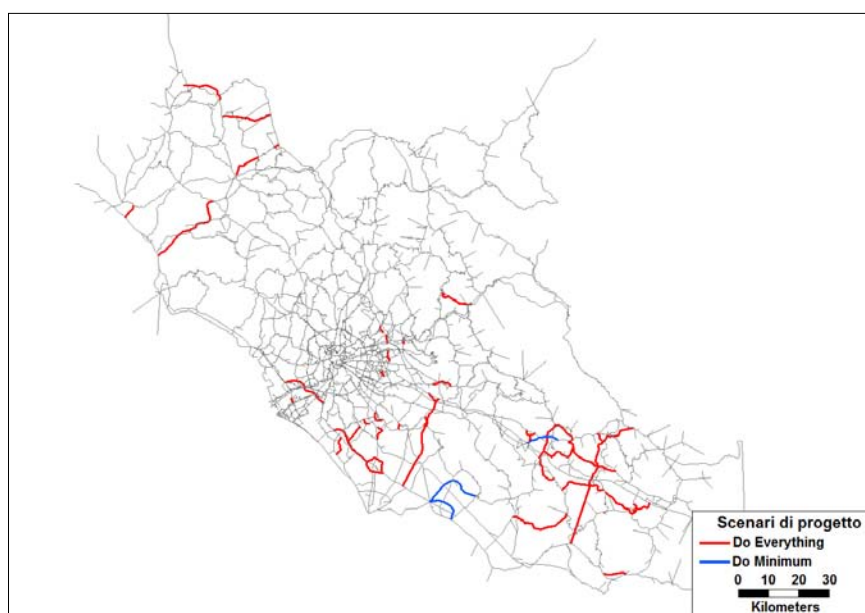


Figura 7-1 Visualizzazione su mappa degli Scenari di Progetto

L'applicazione, al caso della rete extraurbana, è stata effettuata valutando l'impatto degli interventi (nei vari scenari) in termini di costi sociali, ossia, il numero di morti e feriti per chilometro stimati è

stato moltiplicato per il valore di costo sociale associato: Euro 42.219 il costo sociale per un ferito e Euro 1.503.990 il costo sociale per un morto.

In Figura 7-2 viene mostrato lo stato attuale della rete in termini di costi sociali dovuti all'incidentalità:

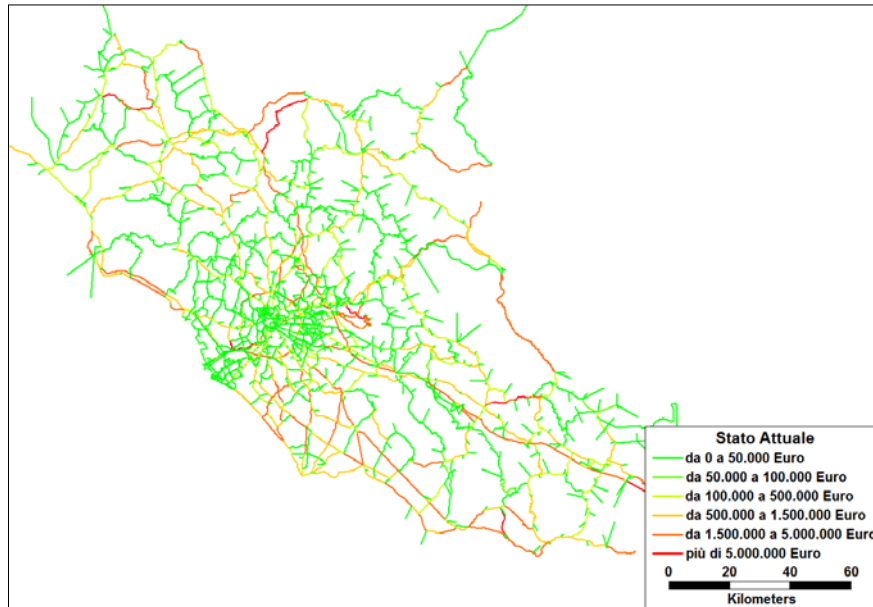


Figura 7-2 Rappresentazione del costo sociale dell'incidentalità allo Stato Attuale

Di seguito, in Figura 7-3, Figura 7-4, Figura 7-5 e Figura 7-6 sono mostrati i valori di costo sociale nei vari scenari di progetto.

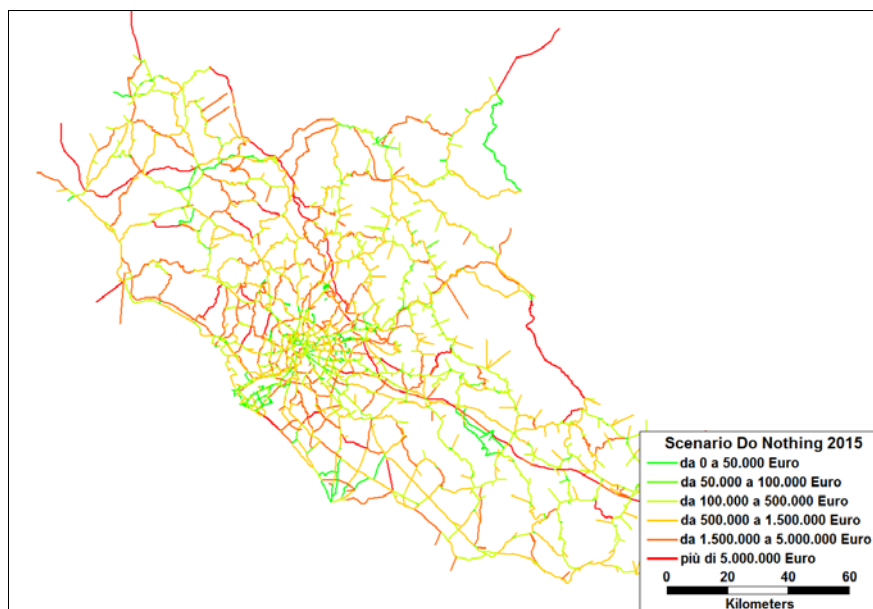


Figura 7-3 Rappresentazione del costo sociale dell'incidentalità nello Scenario Do Nothing 2015

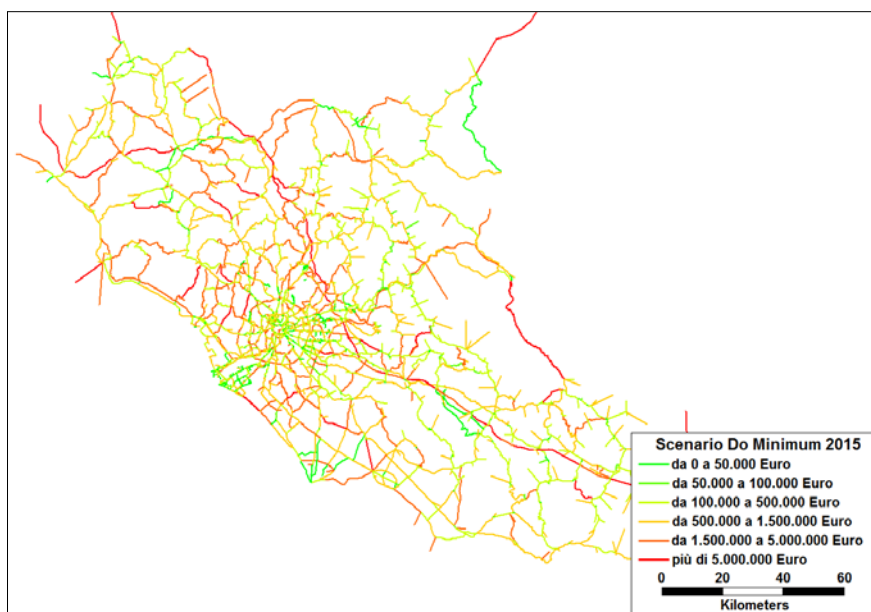


Figura 7-4 Rappresentazione del costo sociale dell'incidentalità nello Scenario Do Minimum 2015

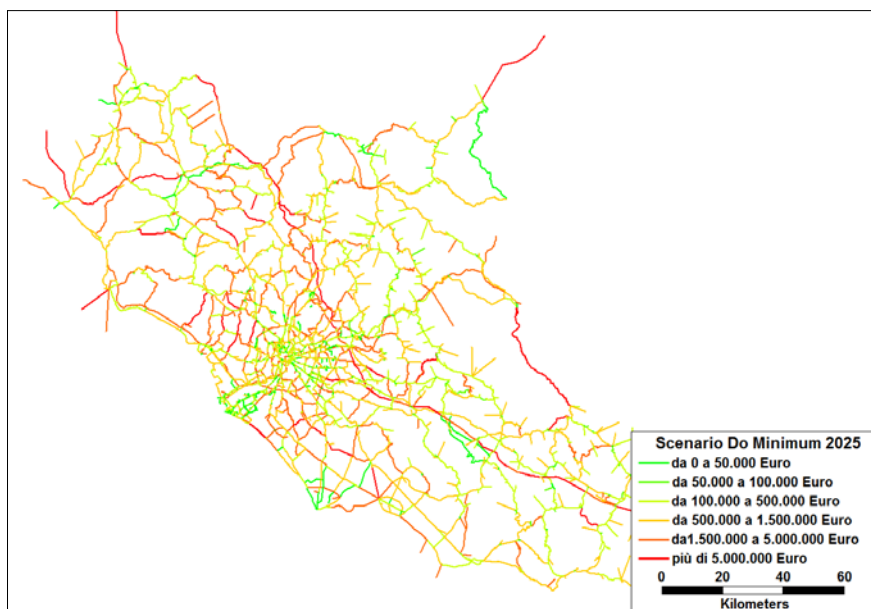


Figura 7-5 Rappresentazione del costo sociale dell'incidentalità nello Scenario Do Minimum 2025

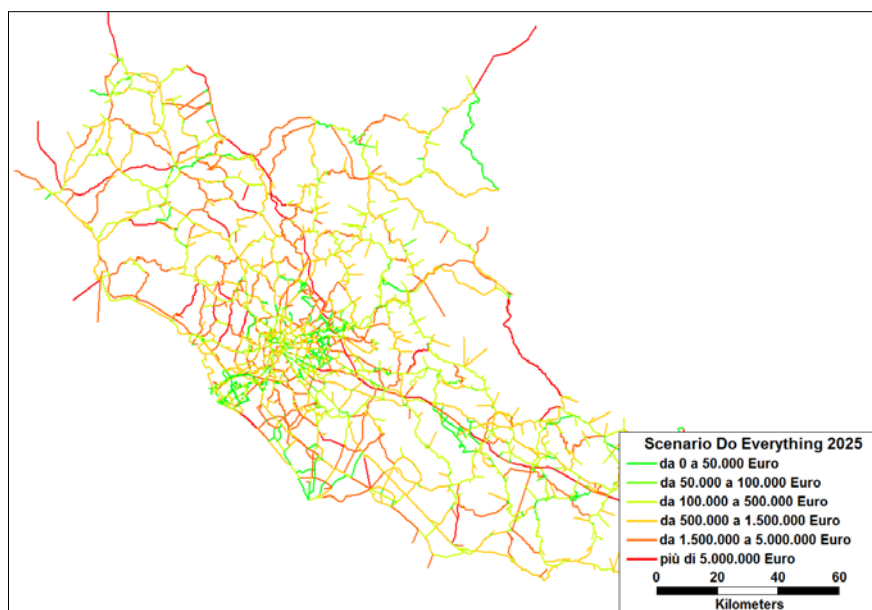


Figura 7-6 Rappresentazione del costo sociale dell'incidentalità nello Scenario Do Everything 2025

Da una prima analisi (Tabella 7-2), mettendo a confronto il numero di archi con un determinato costo sociale per ogni scenario si può notare come rispetto allo Scenario Attuale il numero di archi con costo sociale fino a Euro 50.000 è di meno per tutti gli scenari di progetto andando a incrementare il numero di archi con costo sociale fra Euro 100.000 e Euro 500.000, per tale categoria la percentuale è salita dal 10% al 35%. Altro aumento sostanziale si è avuto nell'ultima categoria, ossia gli archi con costo sociale superiore a Euro 5.000.000: in questo caso il numero degli archi si è più che raddoppiato, passando da 14 archi dello Scenario Attuale a un massimo di 52 archi nello Scenario DM 25. Quindi mantenere la stessa situazione dell'offerta di trasporto e far variare solo la domanda, (confronto fra Stato Attuale e Scenario DN15) evidenzia che la situazione dell'incidentalità peggiora all'aumentare della domanda, mentre in seguito, dopo aver modificato sia la domanda che l'offerta la situazione dell'incidentalità non è di verso rispetto allo Scenario DN15 (offerta attuale e domanda al 2015).

Tabella 7-2 Confronto fra numero di archi con un determinato costo sociale nei vari scenari

Scenari	Fino a € 50.000	da €50.000 a €100.000	da €100.000 a €500.000	da €500.000 a €1.500.000	da €1.500.000 a €5.000.000	più di € 5.000.000
Attuale	4.000 77%	219 4%	534 10%	297 6%	140 3%	14 0%
DN 15	1.422 27%	497 10%	1.846 35%	1.042 20%	351 7%	47 1%
DM 15	1.418 27%	493 9%	1.845 36%	1.040 20%	350 7%	47 1%
DM 25	1.384 27%	465 9%	1.842 35%	1.082 21%	380 7%	52 1%
DE 25	1.345 26%	471 9%	1.855 36%	1.091 21%	394 8%	49 1%

Sono state fatte altre analisi confrontando come possono variare i costi sociali mantenendo la domanda di trasporto costante e variando l'offerta.

Nella prima sono stati confrontati i costi sociali derivanti dallo scenario DN 2015 con i costi sociali derivanti dallo scenario DM 2015, ossia si è voluto analizzare come variano i costi sociali mantenendo la domanda di trasporto al 2015 e modificando la rete di offerta aggiungendo alcune infrastrutture.

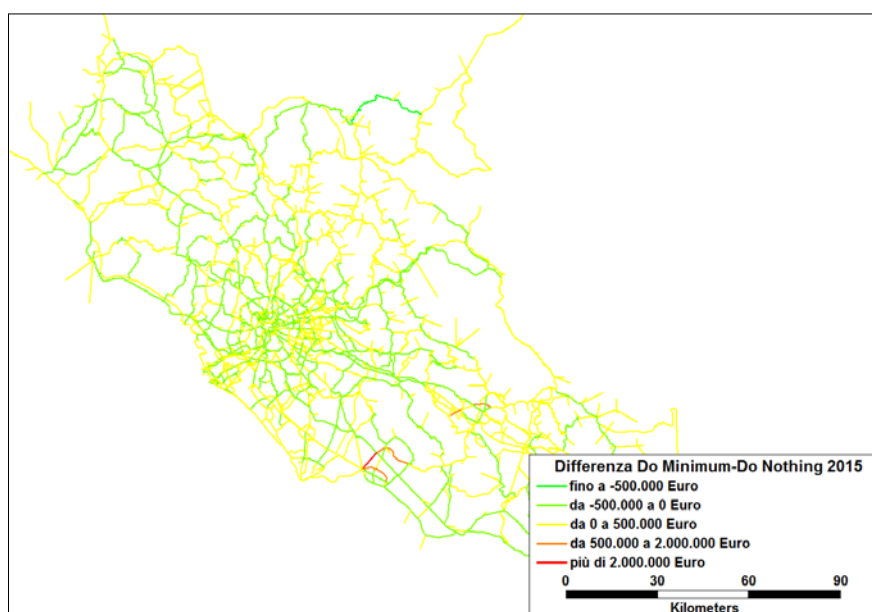


Figura 7-7 Rappresentazione della differenza di costo sociale dell'incidentalità fra lo Scenario Do Minimum 2015 e lo Scenario Do Nothing 2015

In Tabella 7-3 è possibile vedere i risultati in termini di indicatori.

Tabella 7-3 Risultati analisi

Indicatore (2015)	Archi
Differenza di costi sociali (DM / DN)	€ 4.466.907
% Elementi con aumento di costo sociale	37%
% Elementi con riduzione di costo sociale	44%
% Elementi senza variazione di costo sociale	19%
Aumento medio di costo sociale	€ 6.996
Riduzione media di costo sociale	-€ 3.990

La differenza fra i due scenari è un aumento dei costi sociali totali di oltre 4 milioni di Euro: la percentuale di elementi con aumento di costo sociale è pari al 37%, mentre quella relativa agli elementi con riduzione di costo sociale è pari al 44%. La percentuale di elementi senza variazione di costo sociale è pari al 19%. Sugli archi vi è stato un aumento medio di costo sociale pari a circa Euro 7.000, mentre vi è stata una riduzione media di costo sociale pari a circa Euro 4.000.

Nella seconda analisi sono stati confrontati i costi sociali derivanti dallo scenario DM 2015 con i costi sociali derivanti dallo scenario DE 2025, ossia si è voluto analizzare come variano i costi

sociali mantenendo la domanda di trasporto al 2025 e modificando la rete di offerta aggiungendo tutte le infrastrutture in progetto.

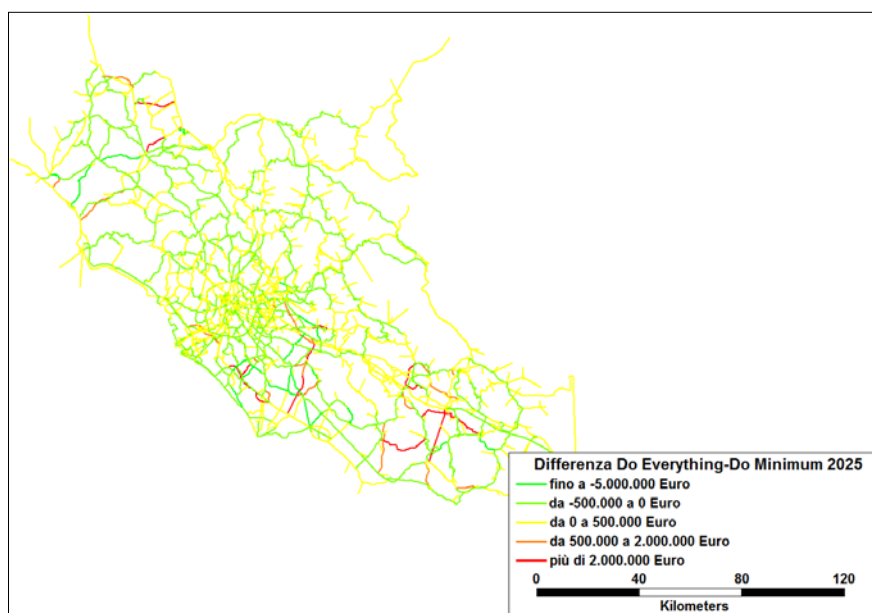


Figura 7-8 Rappresentazione della differenza di costo sociale dell'incidentalità fra lo Scenario Do Everything 2025 e lo Scenario Do Minimum 2025

Tabella 7-4 Risultati analisi

Indicatore (2025)	Archi
Differenza di costi sociali (DE / DM)	€ 24.049.661
% Elementi con aumento di costo sociale	37%
% Elementi con riduzione di costo sociale	40%
% Elementi senza variazione di costo sociale	23%
Aumento medio di costo sociale	€ 54.880
Riduzione media di costo sociale	-€ 39.763

La differenza fra i due scenari è un aumento dei costi sociali totali di oltre 24 milioni di Euro: la percentuale di elementi con aumento di costo sociale è pari al 37%, mentre quella relativa agli elementi con riduzione di costo sociale è pari al 40%. La percentuale di elementi senza variazione di costo sociale è pari al 23%. Sugli archi vi è stato un aumento medio di costo sociale pari a quasi Euro 55.000, mentre vi è stata una riduzione media di costo sociale pari a circa Euro 40.000.

7.2 Applicazione in ambito urbano - il caso del Comune di Terni

In ambito urbano l'applicazione è stata effettuata nel Comune di Terni. I dati a disposizione sono stati (come precedentemente accennato):

- il grafo georeferenziato: sul quale è stato necessario determinare le caratteristiche di archi e nodi della rete;
- flussi di traffico simulati sia per lo stato attuale che per lo stato di progetto;
- dati di incidentalità georeferenziati.

Nel caso del Comune di Terni lo scenario di progetto ipotizzato è stato il rendere pedonali alcune strade del centro della città (Corso Tacito e Via Carducci).

In Figura 7-9 è possibile vedere l'ipotesi di progetto.

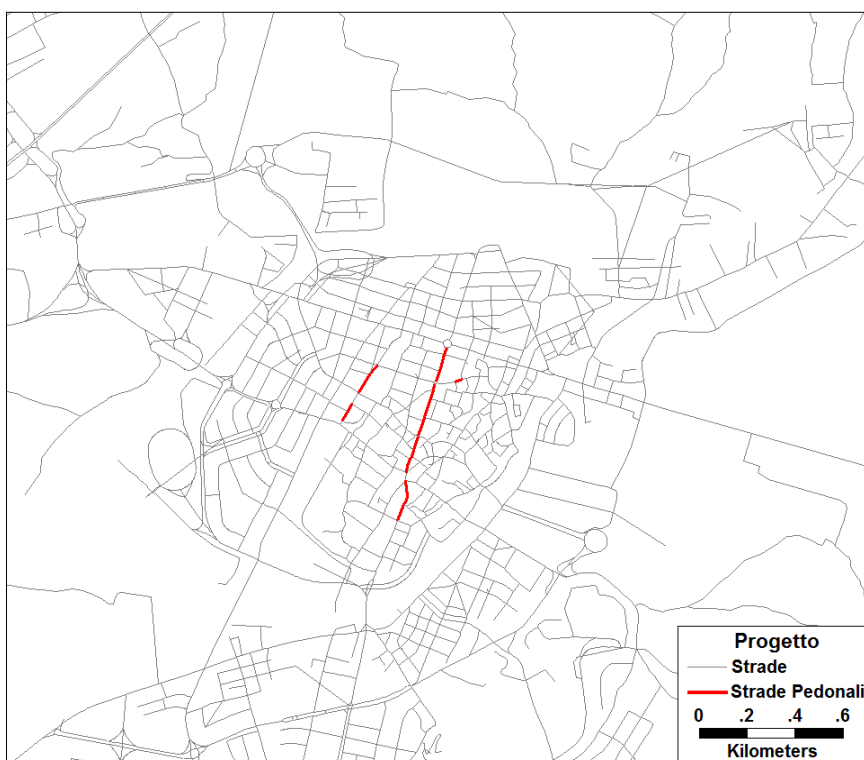


Figura 7-9 Ipotesi di progetto nel Comune di Terni

Dalle simulazioni dello stato attuale è possibile vedere lo stato dell'incidentalità lungo gli archi (Figura 7-10), intesa come incidenti al chilometro, e ai nodi (Figura 7-11).

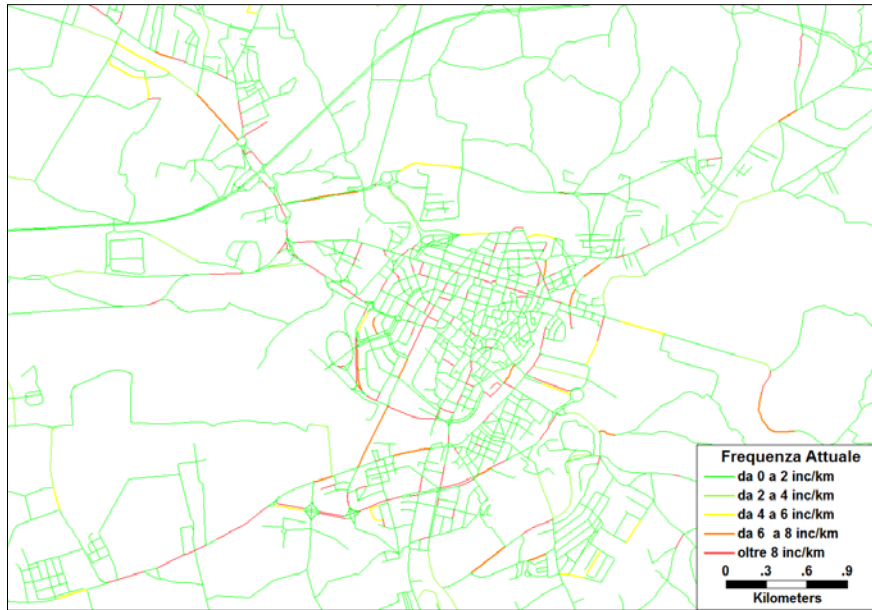


Figura 7-10 Rappresentazione dell'incidentalità agli archi nello Stato Attuale



Figura 7-11 Rappresentazione dell'incidentalità ai nodi nello Stato Attuale

Dopo avere effettuato le simulazioni dello stato di progetto è possibile vedere la situazione dell'incidentalità in termini di frequenza lungo gli archi in Figura 7-12, e di frequenza ai nodi in Figura 7-13.

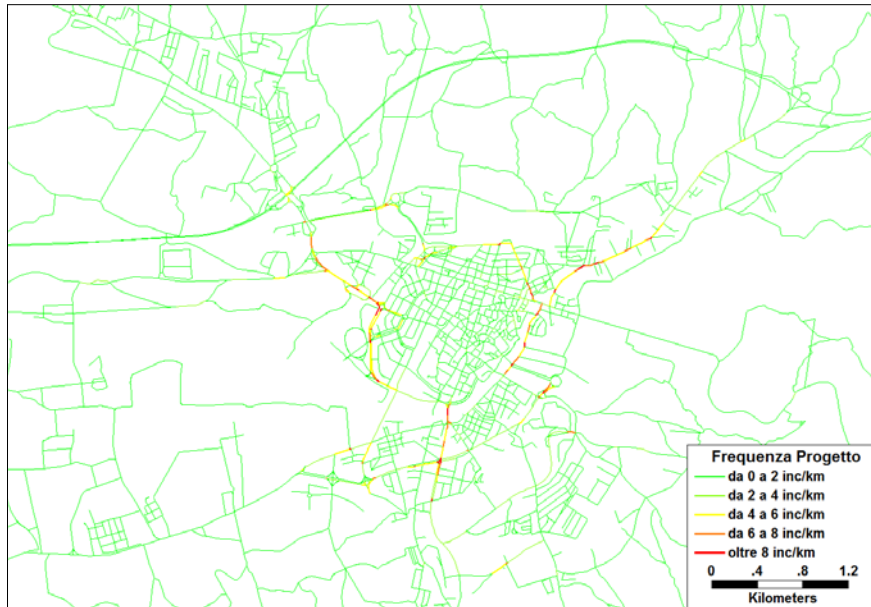


Figura 7-12 Rappresentazione dell'incidentalità agli archi nello Stato di Progetto



Figura 7-13 Rappresentazione dell'incidentalità ai nodi nello Stato di Progetto

Di seguito è possibile vedere in Figura 7-14 e Figura 7-15 la differenza in termini di incidentalità, lungo gli archi e ai nodi fra i due scenari.

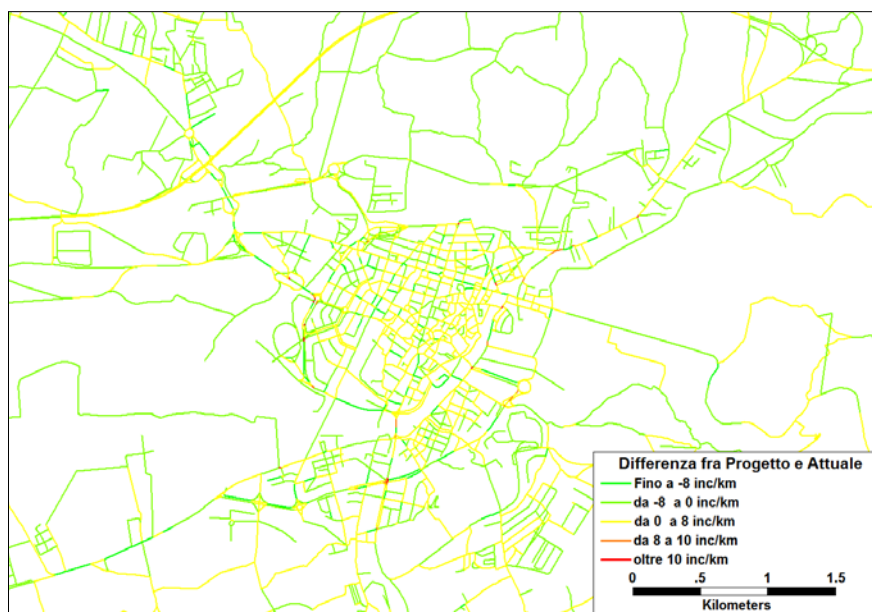


Figura 7-14 Rappresentazione della differenza della frequenza di incidentalità agli archi fra Stato di Progetto e Stato Attuale

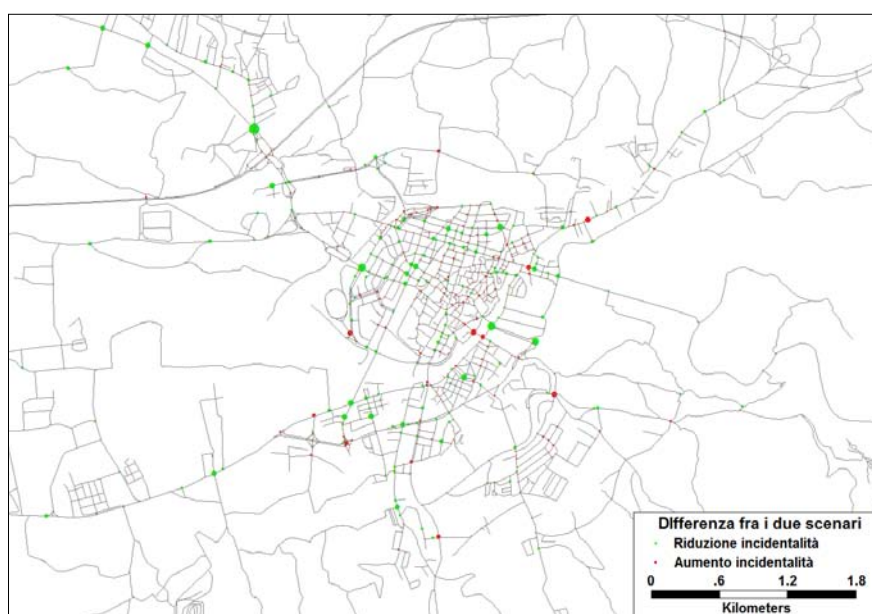


Figura 7-15 Rappresentazione della differenza dell'incidentalità ai nodi fra Stato di Progetto e Stato Attuale

La frequenza di incidentalità lungo gli archi si modifica sensibilmente, infatti rendendo pedonali alcune strade, i veicoli sono costretti ad utilizzare altre arterie “scaricando” il centro della città in termini di flussi e quindi di incidentalità. Confrontando la Figura 7-10 e la Figura 7-12 si nota una riduzione sensibile della frequenza di incidentalità soprattutto nel centro della città e una redistribuzione dei flussi e quindi degli incidenti sulle arterie esterne al centro. La differenza fra i due scenari è visibile in Figura 7-14.

Analoga cosa si verifica per i nodi, confrontando la Figura 7-11 e la Figura 7-13 si può vedere una riduzione di incidentalità a nodi particolarmente critici. Il confronto su descritto è visibile in Figura 7-15.

In Tabella 7-5 è possibile vedere i risultati in termini di indicatori.

Tabella 7-5 Risultati analisi

Indicatore	Archi	Nodi
Differenza di incidentalità (progetto/attuale)	-223 inc/Km	-71 inc
% Elementi con aumento di incidentalità	52%	32%
% Elementi con riduzione di incidentalità	8%	9%
% Elementi senza variazione di incidentalità	40%	59%
Aumento medio di incidentalità	1,73 inc/Km	0,27 inc
Riduzione media di incidentalità	-12,38 inc/Km	-1,23 inc

La differenza fra i due scenari è una diminuzione in termini di incidenti sia agli archi che ai nodi. Per quanto riguarda gli archi si è avuta una riduzione di 223 incidenti al chilometro (complessivamente); la percentuale di elementi sui quali è aumentata l'incidentalità è del 52%, la percentuale di elementi con riduzione dell'incidentalità è del 8%, mediamente vi è stato un aumento dell'incidentalità di 1,73 incidenti al chilometro, mentre vi è stata una riduzione media di 12,38 incidenti al chilometro. Per quanto riguarda i nodi si è avuta una riduzione di 71 incidenti (complessivamente); la percentuale di elementi sui quali è aumentata l'incidentalità è del 32%, la percentuale di elementi con riduzione dell'incidentalità è del 9%, mediamente vi è stato un aumento dell'incidentalità di 0,27 incidenti, mentre vi è stata una riduzione media di 1,23 incidenti.

8 Conclusioni

La ricerca condotta ha consentito di esplorare diversi aspetti della valutazione degli effetti di interventi (di sicurezza stradale e non) sull'incidentalità.

Sono esaminati i problemi connessi al fenomeno dell'incidentalità fino ad arrivare alla valutazione degli effetti di interventi sull'incidentalità stessa. I problemi riscontrati hanno riguardato sostanzialmente l'inadeguatezza del modulo di rilievo dei dati di incidentalità, per via dell'attuale presenza di errori e dell'assenza di una precisa localizzazione del sinistro, l'assenza di dati di traffico e di dati geometrico-funzionali della rete, l'inadeguatezza del metodo di stima degli incidenti e la debolezza del metodo di valutazione dei risultati e infine la difficoltà di associare cambiamenti di incidentalità a variazioni dei flussi di traffico e la carenza di sistemi informativi che permettano tale valutazione.

Nel corso della ricerca di Dottorato si è cercato di risolvere tali problematiche: proponendo un modulo di rilievo per i dati di incidentalità più adatto alle esigenze dell'analisi, aggiornando la valutazione dei costi sociali associati all'incidentalità (indispensabili per una valutazione economica del problema), creando una libreria di funzioni di previsione dell'incidentalità (SPF), adatta al caso italiano, sia per infrastrutture in ambito urbano che extraurbano e infine implementando la metodologia di valutazione degli effetti degli interventi sulla sicurezza stradale (RIA) all'interno di un sistema di supporto alle decisioni (DSS ISIDE).

Le problematiche incontrate nel corso della ricerca hanno riguardato soprattutto il reperimento dei dati. Per analizzare il problema era necessario avere a disposizione dati di incidentalità georeferenziati, dati di traffico, matrici Origine Destinazione e grafi stradali georeferenziati e completi delle caratteristiche dell'infrastruttura. Per quello che riguarda i dati di incidentalità, le Amministrazioni consultate utilizzavano un software per il rilievo informatizzato e georeferenziato dell'incidente (SFINGE). Per queste Amministrazioni, a differenza di quanto accade nella maggior parte dei casi in Italia, non è stato difficile ottenere il database, completo del grafo stradale con le caratteristiche dell'infrastruttura. Il reperimento dei dati di mobilità, invece, è risultato più complicato poiché le Amministrazioni contattate non avevano a disposizione dati di traffico aggiornati, né matrici Origine Destinazione. Questa carenza ha influenzato la scelta dell'ambito (soprattutto urbano) di riferimento per le calibrazioni delle SPF (solo una Amministrazione aveva a disposizione tutti i dati richiesti).

Una volta ottenuti i dati è stato possibile calibrare le funzioni che alimentano il DSS ISIDE per la parte relativa al *Road Safety Impact Assessment* (RIA). L'importanza di creare uno strumento atto a supportare i tecnici nelle fasi di valutazione deriva soprattutto dalla Commissione Europea che tramite la Direttiva EC 96/2008 ha richiesto a tutti gli Stati Membri di effettuare tali valutazioni e ancor più con il decreto n° 35 del 2011 con il quale l'Italia recepisce tale Direttiva. La valutazione risulta fondamentale sia in fase di progettazione di interventi volti alla riduzione dell'incidentalità, ma soprattutto in fase di programmazione di un intervento che porterà in seguito ad una modifica dei flussi di traffico.

La possibilità di valutare gli effetti, in termini di sicurezza stradale, di diversi scenari di interventi futuri permette, da un lato, di selezionare quello che provoca meno incidenti (o aumentare meno l'incidentalità stradale) e, dall'altro, di individuare possibili interventi che possano mitigare l'incidentalità nello scenario selezionato.

Sviluppi futuri della ricerca potranno riguardare l'ampliamento della Libreria di SPF sulla base della disponibilità dei dati, facendo delle aggregazioni in base alle classi di TGM o per area geografica. Altro sviluppo potrebbe venire dal possibile utilizzo dei dati che arriveranno dai Centri di Monitoraggio Regionali sulla sicurezza stradale in corso di realizzazione in tutto il territorio nazionale.

9 Bibliografia

Commissione Europea (1997), Comunicazione n. 131, Promuovere la sicurezza stradale nell'Unione Europea: il programma 1997-2001.

Commissione Europea (2001), Libro Bianco – La politica Europea dei Trasporti fino al 2010: il momento delle scelte.

Commissione Europea (2003), Comunicazione n. 311, Programma di azione Europeo per la sicurezza stradale – Dimezzare il numero di vittime della strada.

Commissione Europea (2010), Comunicazione n. 389, Towards a European road safety area: policy orientations on road safety 2011-2020.

Commissione Europea (2011), Comunicazione n. 144, Libro Bianco – Tabella di Marcia verso uno spazio unico europeo dei trasporti – Per una politica dei trasporti competitiva e sostenibile.

Direttiva Europea 2008/96 del 19 novembre 2008 sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture stradali.

Decreto legislativo 15 marzo 2011, n. 35 – Attuazione della direttiva 2008/96/CE sulla gestione della sicurezza delle infrastrutture.

Elvik R., Høy A., Vaa T., Sørensen M. (2009), *The Handbook of Road Safety Measures, Second Edition*, Institute of Transport Economics (TOI), Oslo. Elsevier.

Hakkert A. S., E. Hauer (1988), *The Extent and Implications of Incomplete and Inaccurate Road Accident Reporting*. In Rothengatter, J. A.; de Bruin R. (Eds): *Road User Behaviour: Theory and Research*, 2-11. Van Gorcum, Assen/Maastricht.

Hauer E. (2004), “Statistical Safety Modeling”, *Transportation Research Record*, 1897, pp 81-87.

Hills B L, Baguley C J, Kirk S J (2002). *Cost and safety efficient design study of rural roads in developing countries*. Report PR/INT/242/2002. Transport Research Laboratory, Crowthorne.

Hutchinson T. P. (1984), *Medical Statistics on Road Accident Injury in Several Countries*. In Yagar, S. (Ed): *Transport Risk Assessment*, 43-76. University of Waterloo Press, Waterloo, Ontario.

Maher M, Summersgill (1996). *A comprehensive Methodology for the Fitting of Predictive Accident Models*. Accident Analysis and Prevention No. 3, Vol. 28.

Maycock G e Hall R D (1984). *Accidents at four-arm roundabouts*. TRL Laboratory Report LR1120. Transport Research Laboratory, Crowthorne.

Persaud B. et al., (1997) “Crash Reductions To Traffic Signal Removal in Philadelphia”, *Accident analysis and Prevention*.

Persia L., C. Saporita (2000), *Road Accident Data Reporting and Analysis*, 8th Meeting of the Euro Working Group Transportation – Rome Jubilee 2000 Conference, Roma.

Safety Analyst User's Manual, 2006.

SEMCOG Traffic Safety Manual (Third Edition), 1998.

TransCAD, Transportation GIS Software, User's Guide (2000)

Turner S, Nicholson A (1997). *Intersection Accident Estimation the role of Intersection location and non-collision Flows*, Accident Analysis and Prevention No. 4.

<http://www.r-project.org/>

www.erso.eu

www.dacota-project.eu

<http://partnet.vtt.fi/rosebud/>

10 Allegato

10.1 Scheda rilievo incidente Regione Marche

Informazioni generali sull'Incidente

Data: __/__/____		Giorno della settimana: _____		Festivo Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>																															
Ora incidente __/____		Ora chiamata __/____		Ora intervento __/____																															
Organo di Rilevazione: Polizia Stradale <input type="checkbox"/> Polizia Municipale <input type="checkbox"/> Corpo Carabinieri <input type="checkbox"/> Polizia Provinciale <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/>																																			
Organo Coordinatore: Sezione Polizia Stradale <input type="checkbox"/> Gruppo Carabinieri <input type="checkbox"/> Comune con oltre 250.000 abitanti <input type="checkbox"/> Altro Capoluogo di Provincia <input type="checkbox"/>																																			
Provincia: _____		Comune: _____		Ambito: Urbano: <input type="checkbox"/> Extraurbano: <input type="checkbox"/>																															
Coordinate geografiche (GPS): Latitudine: _____ Longitudine: _____		Nome Prima Strada: _____ <input type="checkbox"/> N° civico: _____ <input type="checkbox"/> Progressiva chilometrica: _____ Nome Seconda Strada: _____																																	
Circostanze locali Incrocio <input type="checkbox"/> Curva <input type="checkbox"/> Rotatoria <input type="checkbox"/> Rettilineo <input type="checkbox"/> Intersezione segnalata <input type="checkbox"/> Dosso / Strettoia <input type="checkbox"/> Intersez. con semaf. o vigile <input type="checkbox"/> Pendenza <input type="checkbox"/> Intersezione non segnalata <input type="checkbox"/> Galleria illuminata <input type="checkbox"/> Passaggio a livello <input type="checkbox"/> Galleria non illuminata <input type="checkbox"/>			Caratterizzazione dell'intersezione: Intersezione a Y <input type="checkbox"/> Intersezione a X <input type="checkbox"/> Intersez. a livelli sfalsati <input type="checkbox"/> Intersezione a T <input type="checkbox"/> Intersez. maggiore di 4 rami <input type="checkbox"/> Rotatoria <input type="checkbox"/>																																
Regolazione dell'intersezione Assente <input type="checkbox"/> Semaforo <input type="checkbox"/> Segnale Precedenza <input type="checkbox"/> Segnale Stop <input type="checkbox"/> Vigile <input type="checkbox"/>			Stato dell'impianto semaforico Regularmente funzionante <input type="checkbox"/> Lampeggiante <input type="checkbox"/> Funzionamento irregolare <input type="checkbox"/> Spento <input type="checkbox"/>																																
Caratteristiche del tracciato: <table border="0"> <tr> <td></td> <td>Curva</td> <td>Rettilineo</td> </tr> <tr> <td>1° strada</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2° strada</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				Curva	Rettilineo	1° strada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2° strada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Limite di velocità 1° strada _____ km/h 2° strada _____ km/h																							
	Curva	Rettilineo																																	
1° strada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																	
2° strada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																	
Caratteristiche del tratto di strada: <table border="0"> <tr> <td></td> <td>1° strada</td> <td>2° strada</td> <td></td> <td>1° strada</td> <td>2° strada</td> </tr> <tr> <td>Dosso</td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Viadotto/Ponte</td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Strettoia</td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Trincea</td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Pendenza significativa</td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Rilevato</td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Galleria</td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td>Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>							1° strada	2° strada		1° strada	2° strada	Dosso	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Viadotto/Ponte	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Strettoia	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Trincea	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Pendenza significativa	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Rilevato	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Galleria	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
	1° strada	2° strada		1° strada	2° strada																														
Dosso	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Viadotto/Ponte	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>																														
Strettoia	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Trincea	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>																														
Pendenza significativa	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Rilevato	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>																														
Galleria	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>	Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>																																	
Classifica amministrativa strada: 1° strada <input type="checkbox"/> 2° strada <input type="checkbox"/> Autostrada <input type="checkbox"/>			Classifica funzionale strada: 1° strada <input type="checkbox"/> 2° strada <input type="checkbox"/> Autostrada <input type="checkbox"/>																																

Strada Statale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Str.Extraurbana Principale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strada Regionale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Str.Extraurbana Secondaria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strada Provinciale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Str.Urbana scorrimento	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Strada Urbana	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Str.Urbana quartiere	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Altra strada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Str.Locale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tipo di strada: <div>1° strada</div> <div>2° strada</div> <div>Una carr.senso unico <input type="checkbox"/></div> <div>Una carr.doppio seno <input type="checkbox"/></div> <div>Due carreggiate <input type="checkbox"/></div> <div>Più di due carreggiate <input type="checkbox"/></div>			Tronco di strada o autostrada: <div>1° strada</div> <div>Svincolo entrata <input type="checkbox"/></div> <div>Svincolo uscita <input type="checkbox"/></div> <div>Svincolo tronco d.c <input type="checkbox"/></div> <div>Stazione <input type="checkbox"/></div> <div>Zone di scambio <input type="checkbox"/></div> <div>Area servizio/parcheggio <input type="checkbox"/></div>		
Tipo Pavimentazione: <div>1° strada</div> <div>2° strada</div> <div>Strada Pavimentata <input type="checkbox"/></div> <div>Str. pavimentata drenante <input type="checkbox"/></div> <div>Pavè/Lastricato <input type="checkbox"/></div> <div>Calcestruzzo <input type="checkbox"/></div> <div>Non pavimentata <input type="checkbox"/></div>			Fondo stradale: <div>1° strada</div> <div>2° strada</div> <div>Asciutto <input type="checkbox"/></div> <div>Bagnato <input type="checkbox"/></div> <div>Allagato (+ 3cm acqua) <input type="checkbox"/></div> <div>Sdruciolevole <input type="checkbox"/></div> <div>Ghiacciato <input type="checkbox"/></div> <div>Innevato <input type="checkbox"/></div>		
Condizioni pavimentazione: <div>1° strada</div> <div>2° strada</div> <div>Buona <input type="checkbox"/></div> <div>Deteriorata <input type="checkbox"/></div>			Traffico: <div>1° strada</div> <div>2° strada</div> <div>Scarso <input type="checkbox"/></div> <div>Normale <input type="checkbox"/></div> <div>Intenso <input type="checkbox"/></div>		
Visibilità segnaletica orizzontale: <div>1° strada</div> <div>2° strada</div> <div>Visibile <input type="checkbox"/></div> <div>Non visibile <input type="checkbox"/></div> <div>Assente <input type="checkbox"/></div>			Visibilità segnaletica verticale: <div>1° strada</div> <div>2° strada</div> <div>Visibile <input type="checkbox"/></div> <div>Non visibile <input type="checkbox"/></div> <div>Assente <input type="checkbox"/></div>		
Visibilità lanterna semaforica: <div>1° strada</div> <div>2° strada</div> <div>Visibile <input type="checkbox"/></div> <div>Non visibile <input type="checkbox"/></div> <div>Assente <input type="checkbox"/></div>			Condizioni generali di visibilità <div>Buone <input type="checkbox"/></div> <div>Sufficienti <input type="checkbox"/></div> <div>Insufficienti <input type="checkbox"/></div>		
Natura Incidente <div>Scontro frontale <input type="checkbox"/></div> <div>Scontro laterale <input type="checkbox"/></div> <div>Scontro frontale-laterale <input type="checkbox"/></div> <div>Tamponamento <input type="checkbox"/></div> <div>Investimento pedoni <input type="checkbox"/></div> <div>Urto con veicolo in fermata o arresto <input type="checkbox"/></div> <div>Urto con veicolo in sosta <input type="checkbox"/></div> <div>Urto con ostacolo <input type="checkbox"/></div> <div>Urto con treno <input type="checkbox"/></div> <div>Fuoriuscita <input type="checkbox"/></div> <div>Infortunio per frenata improvvisa <input type="checkbox"/></div> <div>Urto per caduta da veicolo <input type="checkbox"/></div>			Incidente condizionato dalla presenza di un'intersezione vicina (Il primo impatto è dovuto a un'attività, a un comportamento o al controllo del traffico relativo al movimento dei veicoli/pedoni attraverso l'intersezione) <div>Sì <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/></div>		
			Condizioni meteo <div>Sereno <input type="checkbox"/></div> <div>Nebbia <input type="checkbox"/></div> <div>Pioggia <input type="checkbox"/></div> <div>Grandine <input type="checkbox"/></div> <div>Neve <input type="checkbox"/></div> <div>Vento forte <input type="checkbox"/></div> <div>Altro <input type="checkbox"/></div>		
			Illuminazione <div>Naturale <input type="checkbox"/></div> <div>Artificiale <input type="checkbox"/></div> <div>Naturale e artificiale <input type="checkbox"/></div> <div>Assente <input type="checkbox"/></div>		
SINTESI					
TOT Veicoli coinvolti:	TOT Pedoni coinvolti:	TOT Illesi:	TOT Feriti:	TOT Deceduti:	

Informazioni generali sul Veicolo

Codice Identificativo assegnato al veicolo:	Marca:	Modello:	Anno di immatricolazione:													
Targa:	Cilindrata:	Chilometri percorsi:	Colore:	Peso a pieno carico:												
Tipo veicolo Autovettura privata <input type="checkbox"/> Autovettura pubblica <input type="checkbox"/> Autovettura di soccorso o pubblica <input type="checkbox"/> Autobus o filobus in servizio urbano <input type="checkbox"/> Autobus di linea o non in extraurbana <input type="checkbox"/> Tram <input type="checkbox"/> Autocarro <input type="checkbox"/> Autotreno <input type="checkbox"/> Autoarticolato <input type="checkbox"/> Veicoli speciali <input type="checkbox"/> Trattore stradale o motrice <input type="checkbox"/> Macchina agricola <input type="checkbox"/> Velocipede <input type="checkbox"/> Ciclomotore <input type="checkbox"/> Motociclo a solo <input type="checkbox"/> Motociclo con passeggero <input type="checkbox"/> Motocarro o motofurgone <input type="checkbox"/> Veicolo a trazione animale o a braccia <input type="checkbox"/> Veicolo ignoto perché datosi alla fuga <input type="checkbox"/> Quadriciclo <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/>		Rimorchio Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Tipo rimorchio Carrello appendice <input type="checkbox"/> Rimorchio per trasporto persone <input type="checkbox"/> Rimorchio per trasporto cose <input type="checkbox"/> Rimorchio per trasporto specifici <input type="checkbox"/> Rimorchio per trasporto a uso speciale <input type="checkbox"/> Rimorchio tipo Caravan <input type="checkbox"/> Rimorchio T.A.T.S. <input type="checkbox"/> Manovra prima dell'urto Marcia continua/ Attraversamento <input type="checkbox"/> Sorpasso <input type="checkbox"/> Svolta a destra <input type="checkbox"/> Svolta a sinistra <input type="checkbox"/> Retromarcia <input type="checkbox"/> Inversione ad U <input type="checkbox"/> Immissione <input type="checkbox"/> Uscita <input type="checkbox"/> Rallentamento <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/>	ABS Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Sconosciuto <input type="checkbox"/>													
Strada di provenienza/percorrenza Prima strada <input type="checkbox"/> Seconda strada <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/>		Direzione di percorrenza (rispetto al km/ numero civico) Crescente <input type="checkbox"/> Decrescente <input type="checkbox"/> Numero di corsie nel senso di marcia del veicolo _____														
Obbligo cronotachigrafo Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Presenza cronotachigrafo Presente <input type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/>														
Circostanze presunte dell'incidente Per difetti o avarie del veicolo (vedi Tab.2 del mod. ISTAT CTT) _____		Stato degli pneumatici <table border="0"> <tr> <td></td> <td>Anteriori</td> <td>Posteriori</td> </tr> <tr> <td>Ottimo</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Sufficiente</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Insufficiente</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>				Anteriori	Posteriori	Ottimo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sufficiente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Insufficiente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Anteriori	Posteriori														
Ottimo	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
Sufficiente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
Insufficiente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>														
Limite di velocità della categoria di veicolo _____ km/h		Airbag Si inesplosivo <input type="checkbox"/> Si esplosivo <input type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/>														
Totale trasportati _____		Totale airbag presenti sul veicolo _____														

Stato generale manutenzione Ottimo <input type="checkbox"/> Sufficiente <input type="checkbox"/> Insufficiente <input type="checkbox"/>		Presenza di ostacoli alla visibilità No / Non determinabile <input type="checkbox"/> Sì, da vegetazione <input type="checkbox"/> Sì, da edificio <input type="checkbox"/> Sì, da veicoli parcheggiati <input type="checkbox"/> Sì, da veicoli in movimento <input type="checkbox"/> Sì, interno al veicolo <input type="checkbox"/> Sì, da altro <input type="checkbox"/>	
Anno ultima revisione _____			
Marcia inserita _____			
Posizione del veicolo al momento dell'urto Nella carreggiata di marcia stesso senso <input type="checkbox"/> Nella carreggiata di marcia senso opposto <input type="checkbox"/> Nella carreggiata opposta <input type="checkbox"/> Non determinabile <input type="checkbox"/>		Localizzazione del danno maggiore Frontale centrale <input type="checkbox"/> Frontale sinistro <input type="checkbox"/> Frontale destra <input type="checkbox"/> Laterale sinistro <input type="checkbox"/> Laterale destro <input type="checkbox"/> Posteriore centrale <input type="checkbox"/> Posteriore sinistro <input type="checkbox"/> Posteriore destro <input type="checkbox"/> Ribaltamento <input type="checkbox"/>	
Posizione finale veicolo Su banchina, marciapiede <input type="checkbox"/> Contro paracarro <input type="checkbox"/> Contro albero <input type="checkbox"/> Contropalo <input type="checkbox"/> Contro muro, parapetto <input type="checkbox"/> Contro guardrail <input type="checkbox"/> Centro dell'intersezione <input type="checkbox"/> Sulla corsia di marcia <input type="checkbox"/> A cavallo della striscia di mezzzeria <input type="checkbox"/> Contro terrapieno cuspidi di guardrail <input type="checkbox"/> Contro ostacolo fisso (fuori sede stradale) <input type="checkbox"/> In scarpata o burrone <input type="checkbox"/> In acqua <input type="checkbox"/> Altro <input type="checkbox"/>		Localizzazione del primo impatto Frontale centrale <input type="checkbox"/> Frontale sinistro <input type="checkbox"/> Frontale destra <input type="checkbox"/> Laterale sinistro <input type="checkbox"/> Laterale destro <input type="checkbox"/> Posteriore centrale <input type="checkbox"/> Posteriore sinistro <input type="checkbox"/> Posteriore destro <input type="checkbox"/> Ribaltamento <input type="checkbox"/>	
Veicolo in sosta Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		Danni riportati Nessuno <input type="checkbox"/> Danneggiato ma può ripartire <input type="checkbox"/> Non può ripartire perché ribaltato <input type="checkbox"/> Non può ripartire perché incendiato <input type="checkbox"/> Non può ripartire per altro motivo <input type="checkbox"/>	
Circostanze presunte dell'incidente Per difetti o avarie del veicolo (vedi Tab.2 del mod. ISTAT CTT) _____			

Informazioni generali sull'Utente Coinvolto

Codice Identificativo assegnato all'utente:	Identificativo veicolo:	Data di nascita ____/____/____	Età: ____	Sesso: ____
Città di residenza: _____		Tipo Patente _____		
Nazionalità: _____		Anno rilascio patente _____		
Tipo utente Conducente <input type="checkbox"/> Passeggero <input type="checkbox"/> Pedone <input type="checkbox"/>		Conducente professionale Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		
Uso casco/cinta Indossava <input type="checkbox"/> Non indossava <input type="checkbox"/> Esente <input type="checkbox"/> Non determinabile <input type="checkbox"/>		Posizione nel veicolo (conducente/passeggero) Anteriore sinistro <input type="checkbox"/> Anteriore destro <input type="checkbox"/> Anteriore centrale <input type="checkbox"/> Posteriore sinistro <input type="checkbox"/> Posteriore destro <input type="checkbox"/> Posteriore centrale <input type="checkbox"/>		
Conseguenze		Parte del corpo con maggiore lesioni (se ferito)		
Incolume <input type="checkbox"/>		Testa <input type="checkbox"/>		
Ferito leggermente* <input type="checkbox"/>		Collo <input type="checkbox"/>		
Ferito seriamente** <input type="checkbox"/>		Spina dorsale <input type="checkbox"/>		
Morto entro 24 ore <input type="checkbox"/>		Torace <input type="checkbox"/>		
Morto entro 30 giorni <input type="checkbox"/>		Addome <input type="checkbox"/>		
* Persona con ferite di lieve entità come una distorsione (inclusendo il colpo di frusta), una contusione o un taglio non ritenuti gravi o un leggero shock che richiede semplice attenzione bordo strada. In generale sono incluse le ferite che non richiedono trattamento medico. ** Persona trattenuta in ospedale come degente o che ha riportato una qualsiasi delle seguenti: fratture, commozione celebrale, lesioni interne, rotture, ustioni, tagli gravi, shock grave che richiede trattamento medico e ferite che causano la morte dopo il 30° giorno dall'incidente.		Arti superiori <input type="checkbox"/> Arti inferiori <input type="checkbox"/> Politraumi <input type="checkbox"/> Sconosciuto <input type="checkbox"/>		
Uso di indumenti riflettenti Indossava <input type="checkbox"/> Non indossava <input type="checkbox"/> Indeterminabile <input type="checkbox"/>		Apertura airbag Si <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Assente <input type="checkbox"/>		
Circostanze presunte dell'incidente Per stato psico-fisico _____ (solo se conducente o pedone, vedi Tab.3 del mod. ISTAT CTT)		Circostanze presunte dell'incidente Per inconvenienti di circolazione _____ (solo se conducente o pedone, vedi Tab.1 del mod. ISTAT CTT) Per inconvenienti di circolazione _____ (solo se conducente in caso di <i>Veicolo in marcia che urta veicolo fermo o altro ostacolo o Veicolo in marcia senza urto con veicolo o ostacolo sulla carreggiata</i> , vedi Tab.1-C o Tab 1-D del mod. ISTAT CTT)		
Violazioni riscontrate				
	1°	2°	3°	4°
Articolo				
Comma				

Sottocomma					
------------	--	--	--	--	--

10.2 Calibrazioni SPF effettuate con il software R

```

                                REPORTNODI2005_7bn
> library(MASS)
> dati=read.table("NODI2005_7bn.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_3=glm.nb(INCIDENTI~TGMMAX+TGMMIN+TIP010+TIP011+TIP012+TIP013+T
IP014+TIP015, data=dati)
> summary(mod_3)

Call:
glm.nb(formula = INCIDENTI ~ TGMMAX + TGMMIN + TIP010 + TIP011 +
      TIP012 + TIP013 + TIP014 + TIP015, data = dati, init.theta =
      2.273674194,
      link = log)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.1104  -0.6025  -0.5305  -0.3727   3.2769

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  -0.45070    0.42771  -1.054  0.291991
TGMMAX        0.15654    0.04103   3.815  0.000136 ***
TGMMIN        0.02235    0.01809   1.236  0.216593
TIP010       -2.81769    0.22586 -12.475 < 2e-16 ***
TIP011       -0.71468    0.77975  -0.917  0.359383
TIP012       -1.57132    0.23114  -6.798 1.06e-11 ***
TIP013       -0.14624    0.37052  -0.395  0.693078
TIP014       -0.79529    0.43651  -1.822  0.068469 .
TIP015              NA           NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(2.2737) family taken
to be 1)

Null deviance: 1003.14 on 1069 degrees of freedom
Residual deviance: 683.54 on 1062 degrees of freedom
(1045947 observations deleted due to missingness)
AIC: 1300.9

Number of Fisher Scoring iterations: 1

              Theta: 2.274
            Std. Err.: 0.781

2 x log-likelihood: -1282.945
>

```

lagina p

Figura 10-1 Calibrazione per nodi Terni anni 2005-2007, Binomiale Negativa

```

REPORTNODI2005_7poisson
dati=read.table("NODI2005_7bn.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_3=glm(INCIDENTI~TGMMAX+TGMMIN+TIP010+TIP011+TIP012+TIP013+TIP014+TIP015, family = "poisson", data=dati)
> summary(mod_3)

Call:
glm(formula = INCIDENTI ~ TGMMAX + TGMMIN + TIP010 + TIP011 + TIP012 + TIP013 + TIP014 + TIP015, family = "poisson", data = dati)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.7167  -0.6181  -0.5409  -0.3642   3.5627

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -0.61239    0.39038  -1.569   0.1167
TGMMAX       0.17672    0.03919   4.509 6.52e-06 ***
TGMMIN       0.01598    0.01539   1.038   0.2992
TIP010      -2.80992    0.16346 -17.190 < 2e-16 ***
TIP011      -0.75706    0.59882  -1.264   0.2061
TIP012      -1.56436    0.16566  -9.443 < 2e-16 ***
TIP013      -0.13700    0.23886  -0.574   0.5663
TIP014      -0.77244    0.33125  -2.332   0.0197 *
TIP015             NA             NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 1222.29 on 1069 degrees of freedom
Residual deviance: 813.57 on 1062 degrees of freedom
(1045947 observations deleted due to missingness)
AIC: 1317.9

Number of Fisher Scoring iterations: 6

```

1agina p

Figura 10-2 Calibrazione per nodi Terni anni 2005-2007, Poisson

```

                                REPORTNODI2005_7Z
> datizip=read.table("NODI2005_7bn.txt",header=T,sep="\t",dec =
",")
>
mod_zip=zeroinfl(INCIDENTI~TGMMAX+TGMMIN+TIPO10+TIPO11+TIPO12+TIPO
13+TIPO14|TGMMAX+TGMMIN+TIPO10+TIPO11+TIPO12+TIPO13+TIPO14,data=da
tizip,dist="negbin",trace=FALSE)
> summary(mod_zip)

Call:
zeroinfl(formula = INCIDENTI ~ TGMMAX + TGMMIN + TIPO10 + TIPO11 +
TIPO12 +
TIPO13 + TIPO14 | TGMMAX + TGMMIN + TIPO10 + TIPO11 + TIPO12 +
TIPO13 +
TIPO14, data = datizip, dist = "negbin", trace = FALSE)

Pearson residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.2658 -0.4211 -0.3757 -0.2759  9.1015

Count model coefficients (negbin with log link):
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -0.04485    0.48561  -0.092  0.92642
TGMMAX       0.13171    0.04629   2.845  0.00444 **
TGMMIN       0.02240    0.02015   1.112  0.26620
TIPO10      -3.01003    0.22506 -13.375 < 2e-16 ***
TIPO11      -0.86467    0.69399  -1.246  0.21279
TIPO12      -1.45162    0.27088  -5.359 8.37e-08 ***
TIPO13      -0.29723    0.32981  -0.901  0.36747
TIPO14      -0.97582    0.40796  -2.392  0.01676 *
Log(theta)   1.56203    0.62890   2.484  0.01300 *

Zero-inflation model coefficients (binomial with logit link):
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -0.04145    1.73768  -0.024  0.981
TGMMAX      -0.16748    0.16572  -1.011  0.312
TGMMIN      -0.03211    0.10012  -0.321  0.748
TIPO10      -9.04026   61.35575  -0.147  0.883
TIPO11     -14.29538  2103.34459  -0.007  0.995
TIPO12       0.51011    1.07077   0.476  0.634
TIPO13     -14.04146  1032.79467  -0.014  0.989
TIPO14     -11.82213   831.12882  -0.014  0.989
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Theta = 4.7685
Number of iterations in BFGS optimization: 52
Log-likelihood: -639.2 on 17 Df
>

```

lagina p

Figura 10-3 Calibrazione per nodi, Terni anni 2005-2007, Zero Inflated

```

REPORTNODI2006bn
dati=read.table("NODI2006bn.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_3=glm.nb(INCIDENTI~TGMMAX+TGMMIN+TIPO10+TIPO11+TIPO12+TIPO13+TIPO14+TIPO15, data=dati)
> summary(mod_3)

Call:
glm.nb(formula = INCIDENTI ~ TGMMAX + TGMMIN + TIPO10 + TIPO11 + TIPO12 + TIPO13 + TIPO14 + TIPO15, data = dati, init.theta = 0.9819358266, link = log)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.8982  -0.7250  -0.6216  -0.4674   3.0367

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -1.771516    0.761767  -2.326   0.020 *
TGMMAX       0.306939    0.075177   4.083 4.45e-05 ***
TGMMIN       0.006277    0.019140   0.328   0.743
TIPO10      -2.535042    0.290425  -8.729 < 2e-16 ***
TIPO11      -2.100110    1.304698  -1.610   0.107
TIPO12      -1.540624    0.303467  -5.077 3.84e-07 ***
TIPO13      -0.228801    0.491030  -0.466   0.641
TIPO14      -0.896041    0.561755  -1.595   0.111
TIPO15              NA           NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(0.9819) family taken to be 1)

Null deviance: 790.76  on 866  degrees of freedom
Residual deviance: 588.10  on 859  degrees of freedom
AIC: 1289.1

Number of Fisher Scoring iterations: 1

              Theta: 0.982
            Std. Err.: 0.218

2 x log-likelihood: -1271.145

```

lagina p

Figura 10-4 Calibrazione per nodi Terni anno 2006, Binomiale Negativa

```

REPORTNODI2006poisson
> library(MASS)
> dati=read.table("NODI2006bn.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_3=glm(INCIDENTI~TGMMAX+TGMMIN+TIPO10+TIPO11+TIPO12+TIPO13+TIPO
14+TIPO15, family = "poisson", data=dati)
> summary(mod_3)

Call:
glm(formula = INCIDENTI ~ TGMMAX + TGMMIN + TIPO10 + TIPO11 +
    TIPO12 + TIPO13 + TIPO14 + TIPO15, family = "poisson", data =
    dati)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-3.2386  -0.7763  -0.6568  -0.4789   4.0410

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -1.835811    0.584563  -3.140  0.00169 **
TGMMAX       0.316026    0.058441   5.408 6.39e-08 ***
TGMMIN       0.002782    0.014355   0.194  0.84633
TIPO10      -2.542231    0.156403 -16.254 < 2e-16 ***
TIPO11      -2.063092    1.012109  -2.038  0.04151 *
TIPO12      -1.551234    0.166020  -9.344 < 2e-16 ***
TIPO13      -0.230338    0.228027  -1.010  0.31243
TIPO14      -0.956191    0.360629  -2.651  0.00801 **
TIPO15              NA           NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

    Null deviance: 1220.19  on 866  degrees of freedom
Residual deviance:  863.26  on 859  degrees of freedom
AIC: 1353.7

Number of Fisher Scoring iterations: 6

```

pagina p

Figura 10-5 Calibrazione per nodi Terni anno 2006, Poisson

```

REPORTNODI2006z
datizip=read.table("NODI2006bn.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_zip=zeroinfl(INCIDENTI~TGMMAX+TGMMIN+TIPO10+TIPO11+TIPO12+TIPO
13+TIPO14|TGMMAX+TGMMIN+TIPO10+TIPO11+TIPO12+TIPO13+TIPO14,data=da
tizip,dist="negbin",trace=FALSE)
> summary(mod_zip)

Call:
zeroinfl(formula = INCIDENTI ~ TGMMAX + TGMMIN + TIPO10 + TIPO11 +
TIPO12 +
TIPO13 + TIPO14 | TGMMAX + TGMMIN + TIPO10 + TIPO11 + TIPO12 +
TIPO13 +
TIPO14, data = datizip, dist = "negbin", trace = FALSE)

Pearson residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.1553 -0.4825 -0.4171 -0.3000  7.1774

Count model coefficients (negbin with log link):
      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -0.75269    0.98397  -0.765   0.4443
TGMMAX       0.23296    0.09994   2.331   0.0198 *
TGMMIN      -0.03228    0.02776  -1.163   0.2448
TIPO10      -2.46257    0.28305  -8.700 < 2e-16 ***
TIPO11      -2.37410    1.15700  -2.052   0.0402 *
TIPO12      -1.30685    0.28901  -4.522 6.13e-06 ***
TIPO13      -0.22276    0.39450  -0.565   0.5723
TIPO14      -0.94900    0.53618  -1.770   0.0767 .
Log(theta)   0.74107    0.43793   1.692   0.0906 .

Zero-inflation model coefficients (binomial with logit link):
      Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)   1.3274    2.5765   0.515   0.606
TGMMAX        -0.3100    0.2795  -1.109   0.267
TGMMIN        -0.1729    0.1240  -1.394   0.163
TIPO10         0.7441    1.2288   0.606   0.545
TIPO11        -8.5907   250.7708  -0.034   0.973
TIPO12         1.3010    1.1449   1.136   0.256
TIPO13       -13.9693  1504.6604  -0.009   0.993
TIPO14        -0.5078    4.3048  -0.118   0.906
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Theta = 2.0982
Number of iterations in BFGS optimization: 53
Log-likelihood: -630.9 on 17 Df
>

```

lagina p

Figura 10-6 Calibrazione per nodi Terni anno 2006, Zero Inflated


```

                                REPORT2005_7NB
dati=read.table("2005_7NB.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
> mod_3=glm.nb(INCIDENTI~LUNGHEZZA+TGM+TIPO6+TIPO7+TIPO8+TIPO9,
data=dati)
There were 50 or more warnings (use warnings() to see the first
50)
> summary(mod_3)

Call:
glm.nb(formula = INCIDENTI ~ LUNGHEZZA + TGM + TIPO6 + TIPO7 +
      TIPO8 + TIPO9, data = dati, init.theta = 5.183626785, link =
      log)

Deviance Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.9657  -0.5737  -0.4643  -0.3948   5.4176

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -1.595e+00  1.566e-01 -10.184 < 2e-16 ***
LUNGHEZZA    1.713e+00  2.038e-01   8.405 < 2e-16 ***
TGM          2.489e-05  5.118e-06   4.863 1.16e-06 ***
TIPO6       -1.089e+00  3.156e-01  -3.450 0.000561 ***
TIPO7        5.545e-02  2.370e-01   0.234 0.815034
TIPO8       -8.737e-01  1.498e-01  -5.834 5.43e-09 ***
TIPO9                NA          NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(5.1836) family taken
to be 1)

Null deviance: 1089.6  on 1472  degrees of freedom
Residual deviance:  960.5  on 1467  degrees of freedom
AIC: 1450

Number of Fisher Scoring iterations: 1

              Theta:  5.18
              Std. Err.:  2.71

2 x log-likelihood:  -1436.011

```

pagina p

Figura 10-7 Calibrazione per archi Terni anni 2005-2007, Binomiale Negativa

```

REPORT2005_7PoissonTOT
dati=read.table("2005_7PoissonTOT.txt",header=T,sep="\t",dec =
",")
> mod_3=glm(INCIDENTI2006~LUNGHEZZA+TGM+TIPO6+TIPO7+TIPO8+TIPO9,
family = "poisson", data=dati)
> summary(mod_3)

Call:
glm(formula = INCIDENTI2006 ~ LUNGHEZZA + TGM + TIPO6 + TIPO7 +
TIPO8 + TIPO9, family = "poisson", data = dati)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.4829  -0.5938  -0.4205  -0.3065   4.3825

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -2.15317    0.61857  -3.481  0.00050 ***
LUNGHEZZA    0.61172    0.05888  10.389 < 2e-16 ***
TGM          0.27703    0.06279   4.412 1.02e-05 ***
TIPO6       -0.89284    0.32981  -2.707  0.00679 **
TIPO7        0.38713    0.22959   1.686  0.09176 .
TIPO8       -1.00876    0.14881  -6.779 1.21e-11 ***
TIPO9              NA           NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

Null deviance: 1093.57 on 1472 degrees of freedom
Residual deviance: 912.34 on 1467 degrees of freedom
(106 observations deleted due to missingness)
AIC: 1341

Number of Fisher Scoring iterations: 6
>

```

1agina p

Figura 10-8 Calibrazione per archi Terni anni 2005-2007, Poisson

```

REPORT2005_7ZTOT
> library(psc1)
> datizip=read.table("2005_7ZTOT.txt",header=T,sep="\t",dec =
",")
>
mod_zip=zeroinfl(INCIDENTI~LUNGHEZZA+TGM+TIPO6+TIPO7+TIPO8|LUNGHEZZA+TGM+TIPO6+TIPO7+TIPO8,data=datizip,dist="negbin",trace=FALSE)
> summary(mod_zip)

Call:
zeroinfl(formula = INCIDENTI ~ LUNGHEZZA + TGM + TIPO6 + TIPO7 + TIPO8 | LUNGHEZZA + TGM + TIPO6 + TIPO7 + TIPO8, data = datizip,
        dist = "negbin", trace = FALSE)

Pearson residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.9404 -0.3713 -0.2639 -0.1635  9.6707

Count model coefficients (negbin with log link):
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -1.50477    0.82865  -1.816   0.0694 .
LUNGHEZZA    1.08614    0.08623  12.597 < 2e-16 ***
TGM          0.32742    0.08196   3.995 6.47e-05 ***
TIPO6       -0.55087    0.33881  -1.626  0.1040
TIPO7        0.41788    0.26650   1.568  0.1169
TIPO8       -0.86886    0.19697  -4.411 1.03e-05 ***
Log(theta)   0.99154    0.47701   2.079  0.0376 *

Zero-inflation model coefficients (binomial with logit link):
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)   1.5118    2.8793   0.525  0.59954
LUNGHEZZA     1.5749    0.4977   3.164  0.00155 **
TGM          -0.2404    0.2776  -0.866  0.38652
TIPO6       -10.3457  2274.9878  -0.005  0.99637
TIPO7       -10.5531  287.0198  -0.037  0.97067
TIPO8         2.1323    1.1393   1.872  0.06126 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Theta = 2.6954
Number of iterations in BFGS optimization: 55
Log-likelihood: -601.4 on 13 Df
>

```

1agina p

Figura 10-9 Calibrazione per archi Terni anni 2005-2007, Zero Inflated

```

                                REPORT2006NBTOT
> dati=read.table("2006NBTOT.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_3=glm.nb(INCIDENTI2006~LUNGHEZZA+TGM+TIPO6+TIPO7+TIPO8+TIPO9,
data=dati)
> summary(mod_3)

Call:
glm.nb(formula = INCIDENTI2006 ~ LUNGHEZZA + TGM + TIPO6 + TIPO7 +
      TIPO8 + TIPO9, data = dati, init.theta = 0.7686232224, link =
log)

Deviance Residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.1705  -0.5672  -0.4108  -0.2997   3.6796

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -2.12982    0.72587  -2.934 0.003345 **
LUNGHEZZA    0.63159    0.06921   9.125 < 2e-16 ***
TGM          0.27586    0.07383   3.736 0.000187 ***
TIPO6       -0.85826    0.35974  -2.386 0.017043 *
TIPO7        0.32626    0.29151   1.119 0.263051
TIPO8       -0.94897    0.18110  -5.240 1.61e-07 ***
TIPO9              NA           NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(0.7686) family taken
to be 1)

Null deviance: 812.94  on 1472  degrees of freedom
Residual deviance: 670.89  on 1467  degrees of freedom
(106 observations deleted due to missingness)
AIC: 1310.3

Number of Fisher Scoring iterations: 1

              Theta: 0.769
              Std. Err.: 0.202

2 x log-likelihood: -1296.303
>

```

1agina p

Figura 10-10 Calibrazione per archi Terni anno 2006, Binomiale Negativa

```

Report2006PoissonTOT
> library(MASS)
>
> dati=read.table("2006PoissonTOT.txt",header=T,sep="\t",dec =
",")
> mod_3=glm(INCIDENTI2006~LUNGHEZZA+TGM+TIP06+TIP07+TIP08+TIP09,
family = "poisson", data=dati)
> summar(mod_3)
Error: could not find function "summar"
> summary(mod_3)

Call:
glm(formula = INCIDENTI2006 ~ LUNGHEZZA + TGM + TIP06 + TIP07 +
TIP08 + TIP09, family = "poisson", data = dati)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.4834  -0.5933  -0.4203  -0.3064   4.3823

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -2.15402     0.61854  -3.482 0.000497 ***
LUNGHEZZA    0.61180     0.05887  10.392 < 2e-16 ***
TGM          0.27714     0.06279   4.414 1.02e-05 ***
TIP06       -0.89291     0.32980  -2.707 0.006781 **
TIP07        0.38726     0.22959   1.687 0.091650 .
TIP08       -1.00876     0.14880  -6.779 1.21e-11 ***
TIP09              NA           NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

    Null deviance: 1093.57  on 1472  degrees of freedom
Residual deviance:  912.28  on 1467  degrees of freedom
(106 observations deleted due to missingness)
AIC: 1341

Number of Fisher Scoring iterations: 6
>

```

1agina p

Figura 10-11Calibrazione per archi Terni anno 2006, Poisson

```

                                REPORT2006ZTOT
> library(pscl)

> datizip=read.table("2006ZTOT.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_zip=zeroinfl(INCIDENTI2006~LUNGHEZZA+TGM+TIP06+TIP07+TIP08|LUN
GHEZZA+TGM+TIP06+TIP07+TIP08,data=datizip,dist="negbin",trace=FALS
E)

> summary(mod_zip)

Call:
zeroinfl(formula = INCIDENTI2006 ~ LUNGHEZZA + TGM + TIP06 + TIP07
+
  TIP08 | LUNGHEZZA + TGM + TIP06 + TIP07 + TIP08, data =
datizip,
  dist = "negbin", trace = FALSE)

Pearson residuals:
      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.7567 -0.4024 -0.2665 -0.1374  15.4903

Count model coefficients (negbin with log link):
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -1.60818    0.90238  -1.782  0.074725 .
LUNGHEZZA    0.08999    0.12836   0.701  0.483254 .
TGM          0.14835    0.09343   1.588  0.112314 .
TIP06       -1.01781    0.58972  -1.726  0.084360 .
TIP07        0.28875    0.35519   0.813  0.416249 .
TIP08       -0.86555    0.23840  -3.631  0.000283 ***
Log(theta)   0.69583    0.55087   1.263  0.206536

Zero-inflation model coefficients (binomial with logit link):
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -1.0300    2.2418  -0.459   0.6459
LUNGHEZZA   -1.6527    0.3223  -5.128 2.93e-07 ***
TGM         -0.3959    0.2139  -1.850   0.0643 .
TIP06       -0.2672    1.0736  -0.249   0.8035
TIP07       -0.2272    0.7111  -0.320   0.7493
TIP08        0.1997    0.5837   0.342   0.7322
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Theta = 2.0054
Number of iterations in BFGS optimization: 27
Log-likelihood: -636.5 on 13 Df
>

```

1agina p

Figura 10-12 Calibrazione per archi Terni anno 2006, Zero Inflated

```

Report_LazioBN_F
> dati=read.table("LazioBNM.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_3=glm.nb(FERITI_PER_KM~TGM+AUTOSTRADE6+AUTOSTRADE4+STRADE3+STR
ADE4+STRADE5,data=dati)
There were 50 or more warnings (use warnings() to see the first
50)
> summary(mod_3)

Call:
glm.nb(formula = FERITI_PER_KM ~ TGM + AUTOSTRADE6 + AUTOSTRADE4 +
      STRADE3 + STRADE4 + STRADE5, data = dati, init.theta =
      3.169904019,
      link = log)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-2.6753  -1.0688  -0.2071   0.5739   2.9496

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -2.63960     0.21723  -12.151 < 2e-16 ***
TGM          0.37681     0.02217   16.997 < 2e-16 ***
AUTOSTRADE6  0.94841     0.07684   12.342 < 2e-16 ***
AUTOSTRADE4  0.38671     0.08008    4.829 1.37e-06 ***
STRADE3      -0.52640     0.06642   -7.925 2.27e-15 ***
STRADE4      -0.79387     0.06818  -11.644 < 2e-16 ***
STRADE5              NA           NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(3.1699) family taken
to be 1)

Null deviance: 4108.7  on 1636  degrees of freedom
Residual deviance: 1883.9  on 1631  degrees of freedom
AIC: 6424.3

Number of Fisher Scoring iterations: 1

              Theta:  3.170
              Std. Err.:  0.255

2 x log-likelihood:  -6410.288
>

```

1agina p

Figura 10-13 Calibrazione per Feriti Lazio, Binomiale Negativa

```

Report_LazioPoissonF
> library(MASS)
> dati=read.table("LazioBNM.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
> >
mod_3=glm(FERITI_PER_KM~TGM+AUTOSTRADE6+AUTOSTRADE4+STRADE3+STRADE
4+STRADE5, family = "poisson",data=dati)
There were 50 or more warnings (use warnings() to see the first
50)
> summary(mod_3)

Call:
glm(formula = FERITI_PER_KM ~ TGM + AUTOSTRADE6 + AUTOSTRADE4 +
    STRADE3 + STRADE4 + STRADE5, family = "poisson", data = dati)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.9714  -0.9854  -0.2209   0.7925   5.4002

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -2.44176    0.15845  -15.410 < 2e-16 ***
TGM          0.36149    0.01578   22.914 < 2e-16 ***
AUTOSTRADE6  0.91704    0.04667   19.649 < 2e-16 ***
AUTOSTRADE4  0.36545    0.05157    7.087 1.37e-12 ***
STRADE3      -0.59570    0.04851  -12.279 < 2e-16 ***
STRADE4      -0.85460    0.05294  -16.142 < 2e-16 ***
STRADE5              NA           NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

    Null deviance: 8246.5  on 1636  degrees of freedom
Residual deviance: 3152.0  on 1631  degrees of freedom
AIC: Inf

Number of Fisher Scoring iterations: 5

```

pagina p

Figura 10-14 Calibrazione per Feriti Lazio, Poisson


```

                                Report_Lazio0
> library(psc1)
> datizip=read.table("Lazio0.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_zip=zeroinfl(INCIDENTI~LUNGHEZZA+TGM+AUTOSTRADE6+AUTOSTRADE4+S
TRADE3+STRADE4|LUNGHEZZA+TGM+AUTOSTRADE6+AUTOSTRADE4+STRADE3+STRAD
E4,data=datizip,dist="negbin",trace=FALSE)

R   NON RISPONDE

```

pagina p

Figura 10-15 Calibrazione per Feriti Lazio, Zero Inflated

```

Report_LazioBN_M
> library(MASS)

> dati=read.table("LazioBNM.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_3=glm.nb(MORTI_PER_KM~TGM+AUTOSTRADE6+AUTOSTRADE4+STRADE3+STRA
DE4+STRADE5,data=dati)
There were 50 or more warnings (use warnings() to see the first
50)
> summary(mod_3)

Call:
glm.nb(formula = MORTI_PER_KM ~ TGM + AUTOSTRADE6 + AUTOSTRADE4 +
      STRADE3 + STRADE4 + STRADE5, data = dati, init.theta =
      2.974971283,
      link = log)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.6333  -0.6236  -0.2417   0.6329   3.1345

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept) -5.60859    0.58898  -9.523  < 2e-16 ***
TGM          0.52492    0.05877   8.931  < 2e-16 ***
AUTOSTRADE6 -2.19087    0.22260  -9.842  < 2e-16 ***
AUTOSTRADE4 -2.35083    0.32294  -7.279 3.35e-13 ***
STRADE3      -2.36849    0.19167 -12.357 < 2e-16 ***
STRADE4      -2.64437    0.23310 -11.344 < 2e-16 ***
STRADE5              NA           NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for Negative Binomial(2.975) family taken to
be 1)

Null deviance: 1253.93  on 1636  degrees of freedom
Residual deviance: 885.75  on 1631  degrees of freedom
AIC: 1268.6

Number of Fisher Scoring iterations: 1

              Theta: 2.975
            Std. Err.: 0.743

2 x log-likelihood: -1254.597
>

```

1agina p

Figura 10-16 Calibrazione per Morti Lazio, Binomiale Negativa

```

Report_LazioPoissonM
> library(MASS)
> dati=read.table("LazioBNM.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_3=glm(MORTI_PER_KM~TGM+AUTOSTRADE6+AUTOSTRADE4+STRADE3+STRADE4
+STRADE5, family = "poisson",data=dati)
There were 50 or more warnings (use warnings() to see the first
50)
> summary(mod_3)

Call:
glm(formula = MORTI_PER_KM ~ TGM + AUTOSTRADE6 + AUTOSTRADE4 +
    STRADE3 + STRADE4 + STRADE5, family = "poisson", data = dati)

Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.6720  -0.2829  -0.0926   0.0999   3.6622

Coefficients: (1 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error z value Pr(>|z|)
(Intercept)  -5.4816     0.5407  -10.139 < 2e-16 ***
TGM           0.5128     0.0533   9.621  < 2e-16 ***
AUTOSTRADE6  -2.1838     0.2095  -10.423 < 2e-16 ***
AUTOSTRADE4  -2.3520     0.3157   -7.451 9.27e-14 ***
STRADE3       -2.3747     0.1839  -12.916 < 2e-16 ***
STRADE4       -2.6549     0.2284  -11.623 < 2e-16 ***
STRADE5         NA         NA      NA      NA
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

(Dispersion parameter for poisson family taken to be 1)

    Null deviance: 903.00  on 1636  degrees of freedom
Residual deviance: 498.94  on 1631  degrees of freedom
AIC: Inf

Number of Fisher Scoring iterations: 6

```

1agina p

Figura 10-17 Calibrazione per Morti Lazio, Poisson

```

                                Report_Lazio0
> library(psc1)
> datizip=read.table("Lazio0.txt",header=T,sep="\t",dec = ",")
>
mod_zip=zeroinfl(INCIDENTI~LUNGHEZZA+TGM+AUTOSTRADE6+AUTOSTRADE4+S
TRADE3+STRADE4|LUNGHEZZA+TGM+AUTOSTRADE6+AUTOSTRADE4+STRADE3+STRAD
E4,data=datizip,dist="negbin",trace=FALSE)

R  NON RISPONDE

```

pagina p

Figura 10-18 Calibrazione per Morti Lazio, Zero Inflated